

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

(назва факультету, інституту)

Кафедра мікроелектроніки

(назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 153 мікро- та наносистемна техніка

(код і назва)

на тему: Імітатор Сонця для вимірювання кутових характеристик сенсоров

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ДП-81мп

(шифр групи)

Кропива Андрій володимирович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц., Іващук А.В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з нормоконтролю проф., к.т.н., доц. Орлов А.Т. _____

Консультант з інформаційних питань доц., к.т.н. Діденко Ю.В. _____

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань. Студент _____

Київ – 2019 року

Реферат

Дипломна робота містить 87 сторінок, 61 рисунок, 22 таблиць, 18 бібліографічних найменувань.

Оскільки Сонце впливає на всі космічні тіла навколо Землі, вкрай важливо мати можливість використовувати його енергію і світловий потік для дослідження впливу на пристроїв що будуть працювати в відкритому космосі .

У цій роботі описується концепція під назвою «сонячний імітатор» - технологія, що імітує сонце, для використання в дослідницьких лабораторіях, промислових додатках і комерційному використанні. Проаналізовано існуючі типи імітаторів Сонця , їхні недоліки та переваги.

Розглянуто сенсор кутових координат для вимірювання кутових характеристик якого буде використовуватися імітатор.

Метою даної роботи є розробка імітатора Сонця що буде використовуватися для вимірювання кутових характеристик сенсорів які в подальшому будуть використовуватися в навігаційних системах нано-супутників.

Об'єктом дослідження роботи є імітатор Сонця що використовує для імітації сонячного випромінювання ксенонову дугову лампу високого тиску.

В даній роботі присутні дослідження основних параметрів прибору імітаора Сонця для вимурівання кутових характеристик сенсора:

- кутові характеристики
- конструкція імітатора Сонця
- оптична схема імітатора Сонця
- програмно-апаратний комплекс для вимірювань

Ключові слова: імітатор Сонця, ксенонова дугова лампа високого тиску, кутові характеристики,світловий потік, сенсор кутових координат Сонця.

Abstract

The thesis contains a 87 page, a 61 picture, a 22 table, 18 bibliographic names.

The fact that the Sun realizes on all cosmic places of the Earth, it tries to reach its energetic and light stream for research on construction working in open space.

We believe that the idea is being used under the permission of the "solar simulator" - a family-simulating technology for testing in research laboratories, manufacturing additional and commercial issues. They analyzed different types of sun imitators, their disadvantages and advantages.

An expanded angle coordinate sensor must be used to change the angular characteristics.

The methodological work is done with the help of the Sun simulator, which will be used to change the angular characteristics of the sensors used in the new satellite systems.

The study uses a sun simulator, which uses a high-pressure xenon arc lamp to simulate solar radiation.

In this industry, which uses different versions, it is proposed to install a sun simulator to simulate angular characteristics:

- angular characteristics
- design of the Sun simulator
- optical scheme of the Sun simulator
- hardware and software complex for change

Keywords: high-pressure xenon arc lamp, sun simulator, angular characteristics, light flux, sensor of angular coordinates of the Sun.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	6
ВСТУП.....	7
1.ІСНУЮЧІ ІМІТАТОРИ СОНЦЯ І ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ІМІТАТОРІВ СОНЦЯ.....	8
1.1 Сонячне світло і сонячний спектр.....	8
1.2 Імітатор сонця.....	10
1.3 Історія імітатора Сонця.....	16
2. СЕНСОРИ КУТОВИХ КООРДИНАТ СОНЦЯ.....	19
2.1 Супутник класу CubeSat.....	19
2.2 Система орієнтації супутника в просторі за допомогою сенсорів.....	20
2.3 Малогабаритні сенсори кутових координат Сонця.....	22
2.4 Щілинний 2-х координатний пристрій визначення кутових координат Сонця на монокристалічному кремнії.....	23
3. СКЛАД ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ ІМІТАТОРА СОНЦЯ.....	26
3.1 Опис конструкції імітатора Сонця.....	26
3.2 Оптична схема імітатора Сонця.....	30
3.3 Юстування імітатора Сонця	37
4.АПАРАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕНСОРІВ.....	41
4.1 Поворотний столик для вимірювання кутових характеристик сенсора.....	42
4.2 Програмно-апаратний комплекс.....	43
4.3 Налаштування програмного комплексу.....	49
4.4 Отримані кутові хаарактеристики.....	60
5. НЕБЕЗПЕКИ ПОВ'ЯЗАНІ З ВИПРОБУВАННЯМИ І ЗАХИСТ ПЕРСОНАЛУ	63
5.1 Фактори впливу.....	63
5.2 Заходи і небезпеки.....	64
6.РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	70
6.1 Опис ідеї проекту.....	70
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	72
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	73

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	80
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	82
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

СВО – системи визначення орієнтації.

ГВСК – геоцентричної вертикальної системи координат.

ГСП – глобальна система позиціонування.

ККД – коефіцієнт корисної дії.

СККС – сенсор кутових координат Сонця.

ФЕП – фотоелектричний перетворювач.

МН – Metal halide – металогалогенні.

QTH – Quartz Tungsten Halogen – кварцові вольфрамово-галогенні.

LED – Light-emitting diode – світлодіоди.

УФ – ультрафіолетове.

NASA – National Aeronautics and Space Administration – Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору

Cubesat – Cube Satellite, клас малогабаритних супутників.

Вступ

Оскільки Сонце впливає на всі космічні тіла навколо Землі, вкрай важливо мати можливість використовувати його енергію і світловий потік для дослідження впливу на пристроїв що будуть працювати в відкритому космосі.

Дослідження кутових характеристик сенсорів потребує якісного сонячного світлового потоку що буде повторювати за своїми характеристиками сонячне світло що буде падати на сенсори.

Сонячний імітатор для вимірювання кутових характеристик має відповідати наступним вимогам:

- стабільний спектр випромінювання;
- максимально відповідати спектру сонячного випромінювання;
- висока інтенсивність випромінювання;
- мати сприйнятливую собівартість;
- мати не дуже складну оптичну систему.

Дотримання даних вимог є важливим для подальшого вимірювання кутових характеристик сенсорів.

У роботі буде описуватися конструкція імітатора Сонця, для вимірювання кутових характеристик сенсорів, а також для використання в дослідницьких лабораторіях, промислових додатках і комерційному використанні. Буде проаналізовано існуючі типи імітаторів Сонця, їхні недоліки та переваги. Розглянуто сенсор кутових координат для вимірювання кутових характеристик якого буде використовуватися імітатор.

1. ІСНУЮЧІ ІМІТАТОРИ СОНЦЯ І ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ ІМІТАТОРІВ СОНЦЯ

1.1 Сонячне світло і сонячний спектр

Сонячне світло складається з хвиль різної довжини і деякі з цих хвиль представляють кольори, які ми бачимо. Сонце випромінює майже всі довжини хвиль світла, навіть ті, які ми не можемо сприймати людськими очима, наприклад: радіохвилі, мікрохвилі, інфрачервоні, ультрафіолетові, рентгенівські і гамма-промені.

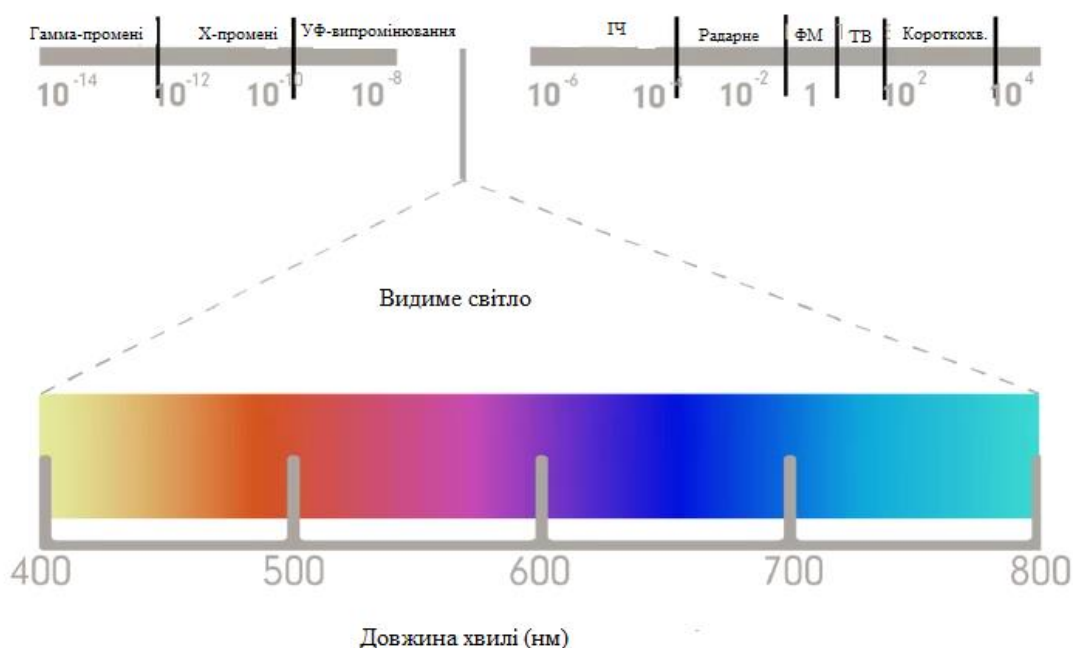


Рис.1 – Склад сонячного світла

Ми можемо близько наблизити температуру поверхні Сонця до 5800 кельвінів (К) або 5500 за Цельсієм (С).

Сонячне світло має енергію, що випромінюється в формі електромагнітного випромінювання, яке випускається гарячою поверхнею сонця. Таким чином, спектр сонячного випромінювання відповідає чорному тілу 5800 К.

Кількість сонячного світла, що падає на земну атмосферу, змінюється протягом року приблизно на 6,6% через зміну відстані від Землі до Сонця, а зміни сонячної активності викликають зміну сонячного світла до 1%. Крім того, все випромінювання, яке досягає землі, проходить через атмосферу, яка змінює спектр за рахунок поглинання і розсіяння. Конкретні фізичні та спектроскопічні властивості сонячного світла різні в різних частинах світу, році, дні і навіть висоті. Крім того, через викривленої поверхні

Землі сонячне випромінювання, яке досягає поверхні землі, не поширюється на всі області планети під однаковим кутом. Наприклад, коли сонце знаходиться майже над головою, воно падає прямо біля екватора, але більш похило біля полюсів.

Хоча наші очі сприймають тільки видиму частину електромагнітного спектра, інші довжини хвиль, що створюються сонцем, також відіграють важливу роль у багатьох фотохімічних процесах. Наприклад, в залежності від типу хлорофілу рослини можуть поглинати довжини хвиль, які варіюються від ультрафіолетового до інфрачервоного, щоб виробляти корисну енергію. Крім того, матеріали (органічні або неорганічні) можуть бути розраховані на поглинання світла в широкому діапазоні довжин хвиль навіть поза видимого світла.

Щоб мати можливість послідовно тестувати фотохімічні процеси в лабораторних умовах, нам необхідно мати стандартне визначення того, що визначається як сонячне світло. Штучне світло від сонячних імітаторів дозволяє імітувати спектри сонячного світла, які відповідають міжнародним стандартам, які необхідні для проведення послідовних і відтворюваних експериментів.

Сонячний спектр генерується поверхнею сонця, яка має температуру близько 5800 К. Сонячний спектр визначається як спектральний розподіл енергії електромагнітного поля, що випромінюється Сонцем. Діапазон випромінювання знаходиться в інтервалі довжини хвиль від 350 до 4000 нм.

Вплив газового середовища (атмосфери) вносить певні зміни у початковий склад спектру, тому прийнято розрізняти його у відповідності до «маси» атмосфери M0, M1, M2.

Випромінюваний з космосу спектр, що випромінюється сонцем, еквівалентний спектру електромагнітного випромінювання, що випускається чорним тілом при цій температурі. Однак при вимірі на Землі він трохи зміщується в порівнянні з випромінюванням чорного тіла з-за розсіювання синього світла і поглинання червоного світла атмосферою. Чим більше атмосфери, через яку він проходить, тим більше ослаблення випромінювання. Складні атмосферні процеси можуть значно змінити сонячний спектр, який досягає поверхні Землі. У видимому діапазоні опади, хмари і піщані бурі зменшують сонячну радіацію. Оскільки велика частина ультрафіолетового випромінювання поглинається з сонячного спектра і не досягає земної поверхні, пік

сонячного випромінювання, який досягає земної поверхні, знаходиться у видимій частині спектру. Із загальної випромінювання близько $3/4$ в кінцевому підсумку досягає Землі. Розподіл енергії в сонячному спектрі становить близько 5% ультрафіолетового випромінювання, 43% видимого і 52% інфрачервоного.

1.2 Імітатор сонця

Сонячний імітатор - це пристрій, джерело світла якого має інтенсивність і спектральний склад, аналогічні природного сонячного світла. Сонячні імітатори - це наукове обладнання, що використовується для відтворення сонячного світла в контрольованих лабораторних умовах. Вони необхідні для дослідження та тестування продуктів і процесів, які або використовують сонячне світло, або схильні до його впливу .

Основними компонентами сонячних імітаторів є джерело світла і джерело живлення, оптика і фільтри, які використовуються для зміни вихідного проміння, а також елементи управління, необхідні для роботи імітатора.

Сонячні імітатори можна розділити на дві основні категорії: безперервні, стаціонарні і імпульсні.

Безперервний тип - це форма джерела світла, в якій освітлення безперервно в часі. Цей тип пристрою найчастіше використовується для тестування низької інтенсивності одного або декількох сонць.

Другий тип - це імпульсна система. Цей імітатор має спалахи / імпульси з типовою тривалістю в мілісекунди, і можливі дуже високі інтенсивності до декількох тисяч сонць.[1]

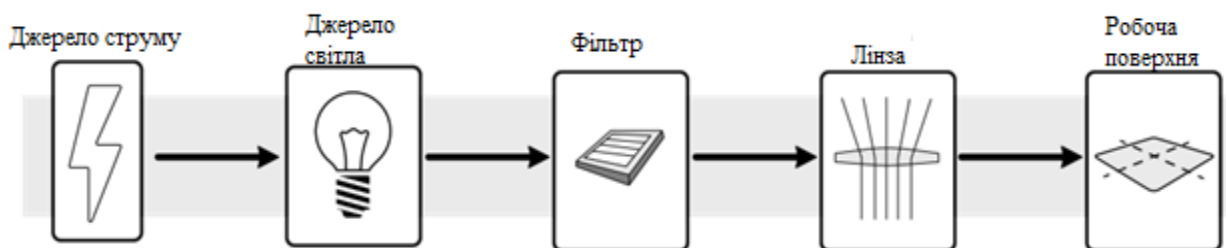


Рис.2 – Спрощена схема сонячного імітатора[1]

Основними компонентами сонячних імітаторів є джерело світла і джерело живлення, оптика і фільтри, які використовуються для зміни вихідного проміння, а також елементи управління, необхідні для роботи імітатора.

Існує два підходи для створення «штучного сонячного світла»:

- Методом корегування спектру джерела світла з широким діапазоном завдяки застосування оптичних фільтрів, для приведення його до природнього сонячного;
- Методом використання вузько-смугових джерел світла з складанням їх разом для створення бажаного спектру.

Оскільки існують відмінності в способах генерації штучного світла і способах генерації сонячного світла, необхідно вжити додаткових заходів, щоб відповідати інтенсивності сонячного світла і спектрального складу.[1]

Існує три складових, які використовуються для оцінки відповідності між природним сонячним світлом і вихідною потужністю сонячного імітатора:

- джерела світла
- джерело живлення
- оптика

1.2.1 Джерела світла

Основним компонентом сонячного імітатора є джерело світла. У якості джерела світла частіше всього використовуються ксенонові (Xe) лампи високого тиску з короткою та довгою дугою.

Також використовуються інші джерела світла, такі як: металогалогенні (MH) лампи, кварцові вольфрамово-галогенні (QTH) лампи і, останнім часом, світлодіоди (LED).

Розглянемо більш детально різні типи джерел:

1) Ксенонові дугові лампи високого тиску

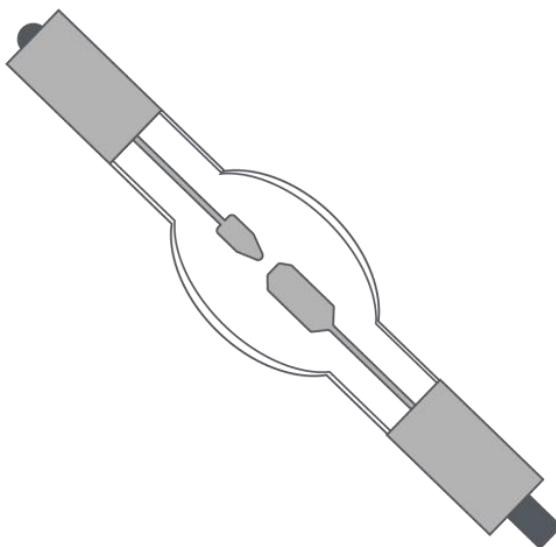


Рис.3 – Ксенонова дугова лампа

Ксенонові дугові лампи є найбільш широко використовуваним джерелом світла для сонячних імітаторів. Основна причина цього полягає в тому, що вони забезпечують стабільний спектр випромінювання, який не залежить від електричної потужності газового розряду, за складом досить добре відповідає сонячному світлу. Ксенонові дугові лампи мають спектр, максимально приближений до спектру абсолютно чорного тіла при 5800 К, але у зв'язку з природою газового розряду у спектрі лампи генеруються «паразитні» лінії випромінювання в інфрачервоному діапазоні від 800 до 1000 нм, які можна частково усунути за допомогою застосування оптичних фільтрів. Додаткова перевага, яку має ксенонове джерело, полягає в тому, що зміна потужності не призводить до зсуву в спектральному балансі. Крім того, лампи з короткою дугою високого тиску здатні генерувати світлові промені високої інтенсивності.

Плюси:

- стабільність спектру;
- максимальна відповідність спектру сонячного світла;
- зміна потужності не має впливу на спектральний баланс;
- висока інтенсивність випромінювання;

Мінуси:

- високий тиск газу ксенону в лампі під час роботи, є потенційною небезпекою для персоналу;
- нестабільність рівня світлового випромінювання до 30%;

- наявність у інфрачервоній частині спектру лінійчатих складових, що викликані природою газового розряду;

- лампи мають короткий термін служби і відносно дорогі;

2) Металогалогенні дугові лампи

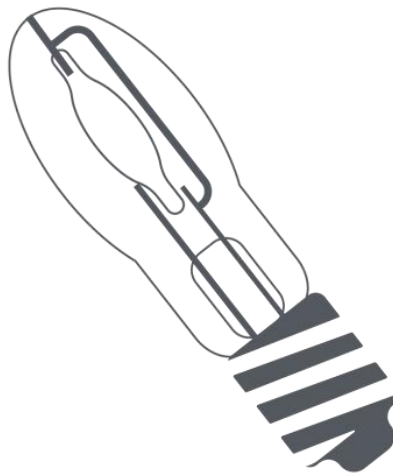


Рис.4 - Металогалогенна дугова лампа

Металогалогенна дугові лампи - джерело дуги, що використовує ртутну дугу з металогалогенними присадками, і дає освітлення, яке відповідає спектрам, зазвичай для температур в діапазоні від 5000 К до 6000 К.

Плюси:

- висока стабільність;
- спектральна якість, яка близько відповідає спектру сонця;
- тиск нижче, ніж у ксенонових дугових ламп;

Мінуси:

- випромінює велику кількість інфрачервоної енергії та недостатню кількість ультрафіолетового випромінювання;
- відбувається скорочення світлового потоку з плином часу;
- короткий термін служби, менш ніж у ксенонових ламп;
- обмежена потужність реалізації;

3) Кварцові вольфрамкові галогенні лампи

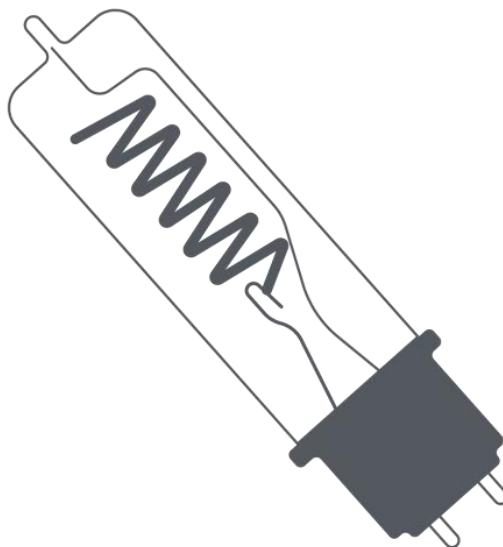


Рис.5 – Кварцова вольфрамowo галогенна лампа

Кварцовий вольфрамований галоген являє собою лампу розжарювання, яка складається з вольфрамової нитки в герметичному прозорому контейнері, який містить суміш інертного газу і галогену.

Вони частіше використовуються в імітаторах сонячних джерел з декількома джерелами, тому що шляхом утворення може нагріватися тільки до температури менше 3400 К, що нижче 5800 К поверхні Сонця. В результаті вони випромінюють випромінювання слабше на більш коротких довжинах хвиль але сильніше в інфрачервоній частині.

Плюси:

- мінімальне УФ випромінювання;
- низька вартість;

Мінуси:

- більш низька температура ніж Сонячна
- погана спектральна відповідність у видимому діапазоні
- необхідно комбінувати з іншим джерелом світла

4)LED(перек. як світлодіод)



Рис 6 - Світлодіод

Світлодіоди - це напівпровідникові пристрої. При використанні в сонячних імітаторах вони здатні забезпечити більш динамічний функціонал сонячної імітації. У минулому основною проблемою була недостатня інтенсивність світла при розробці повністю світлодіодних сонячних генераторів. На даний момент ця проблема вирішується завдяки прогресу у розробці технології виробництва світлодіодів високої потужності.

Плюси:

- корегування спектру джерела світла з інтервалом 30 нм - 50 нм;
- енергоефективність;
- тривалий термін служби
- світлодіоди можуть управлятися дуже швидко протягом мікросекунд або працювати стабільно при одній інтенсивності світлового потоку безперервно протягом тривалого часу;

-завдяки високій швидкодії дозволяють створювати системи регулювання для отримання максимально стабільного світлового потоку.

Мінуси:

- для імітації повного спектру сонячного випромінювання необхідно використовувати масив світлодіодів з різною довжиною хвиль;

- висока собівартість світлодіодів для генерації світлового потоку нижче 360 нм і вище 1100 нм;
- складна оптична схема.

1.2.2 Джерело живлення

Зазвичай вони визначаються використанням джерелом світла і мають свої особливості, які визначаються фізичними принципами роботи цих джерел світла.

1.2.3 Оптика

При використанні сонячних імітаторів використовують штучне джерело світла для генерації необхідних спектрів випромінювання. Однак між джерелами штучного світла і природним сонячним світлом можуть бути відмінності як за інтенсивністю, спектральним складом та геометрією пучка променю. Фільтри і оптика використовуються, щоб компенсувати зазначені розбіжності.

Оптична схема сонячного імітатора значно варіюється в залежності від багатьох змінних: використовуваних джерел світла, площі освітлення, спектральної потужності. Зазвичай головна проблема для оптичної системи сонячної імітаційної системи, крім того факту, що вона має бути необхідної класифікації, полягає в тому, що вона повинна бути простою у використанні і обслуговуванні. Коліматорна лінза може бути додана до сонячних імітаторів, щоб генерувати колімований промінь, в якому електромагнітне випромінювання має паралельні промені, і в результаті світло поширюється мінімально. Коли колімуюча лінза не використовується, кут проміння буде більше. Крім того, лінза інтегратора також зазвичай використовується в сонячних імітаторах для досягнення однорідності проміння. Системи, які не використовують ніяких лінз для гомогенізації світу, зазвичай вимагають як мінімум двох дзеркал для зміни напрямку променя, гомогенізації світлового променя і колімування світла, що призводить до втрати світла.

До сонячних імітаторів також можна додати зворотний відбивач Ламберта, щоб розсіювати напрямок відбитого світла і забезпечити більш рівномірне випромінювання. Якість сонячного імітатора оцінюється по тимчасовій стабільності в ході експерименту і спектральній відповідності сонця з чітко визначеного еталонного спектру.[1]

1.3 Історія імітатора Сонця

Моделювання сонячної імітації в приміщенні почалося на початку 1960-х років з серії дослідних програм, спонсорованих NASA.

Ці програми були спрямовані на розробку наземної випробувальної установки, яка може моделювати космічну середовище для випробувань супутників Землі та інших космічних апаратів. Камера для цього випробування була названа «Камера випробування космічного середовища», і в цій камері для моделювання космічного сонячного випромінювання використовувався сонячний імітатор.

Після тестування і порівняння в якості кращого джерела світла була обрана ртутна ксенонова лампа. Лабораторія реактивного руху NASA створила серію з кількох великих сонячних симуляторів, щоб задовольнити зростаючі вимоги до випробувань космічної техніки.

У 1986 році Європейське космічне агентство створило сонячний симулятор для виконання європейського космічного плану. Сонячний імітатор був більшим і мав простіші оптичні налаштування, ніж у NASA. Пізніше Росія, Південна Корея і Японія створили власні масштабні Сонячні імітатори.

Ці космічні сонячні імітатори проклали шлях до багатьох фундаментальних досліджень і випробувань сонячного моделювання сьогодні.

Сонячні імітатори необхідні, щоб мати загальну основу для порівняння сонячних пристроїв і для проектування великих масивів. Це створило галузеву потребу в тестуванні сонячних елементів та інших пристроїв в умовах контролю і, отже, потреба в доступних сонячних імітаторах.

Деякі компанії, такі як Hoffman Electronics Corp. (Що використовує комбінацію ксенонових дугових ламп і вольфрамових ламп), Лабораторія оптичного покриття (модифікація джерел світла за допомогою оптичних фільтрів) разом зі Spectrolab X25, були одними з піонерів розробки і виробництва стандартних сонячних симуляторів.

Потім, в 1970-х роках через розвиток фотоелектричної промисловості, необхідність в стандартному методі вимірювання стала необхідністю. На початку розробки фотоелектричних (фотоелектричних) елементів робочі характеристики були перевірені за джерелами світла, які необхідно постійно калібрувати з використанням дорогих великомасштабних камер космічного симулятора. Стандарт був важливий для визначення продуктивності зразків з одного джерела, порівняння зразків різних конструкцій, вивчення змін продуктивності пристрою в залежності від часу і для надання даних про конструкції системи інженерам і маркетологам. Через це перша

стандартна процедура для сонячних елементів була встановлена в 1975 році і оновлена в 1977 році.

У 1978 році підкомітет з фотоелектричних електроенергетичних систем комітету ASTM E-44 почав розробку стандартних методів вимірювання електричних характеристик фотоелектричних пристроїв. У 1985 році була випущена серія переглянутих стандартів ASTM.

Сонячні імітатори мають основоположне значення для фотоелектричних вимірювань, проведених як в наукових дослідженнях, так і в промисловості, і оскільки струм в залежності від чутливості до спектру, інтенсивності і температури. Пошук нових джерел світла і розробка більш точних оптичних систем на основі провідних стандартів стали пріоритетом.

Крім того, стандартні фотоелектричні сонячні тренажери мали проблеми зі зниженням середньої потужності і коливань температури (викликаних тривалим впливом світла). Оскільки виробники сонячних елементів почали нарощувати виробництво було виготовлено імітатори великої площі яка були здатні до тестування модулів. Щоб звести до мінімуму споживання енергії та надмірне виділення тепла, час освітлення було скорочено, що зменшило час вимірювання. В результаті спроб вирішити цю проблему, були розроблені імпульсні сонячні імітатори. Паралельно тривала розробка додаткових імітаторів сонячної енергії, включаючи розробку багатоджерельний імітатор для підвищення точності, високоінтенсивних симуляторів для багатоперехідних і концентраторних систем і світлодіодних систем. З розвитком технології світлодіодів високої потужності в 1990-х роках були розроблені сонячні імітатори для використання цього нового джерела світла, який забезпечив такі переваги, як налаштовувані спектри, висока точність, тривалий термін служби і керування потужністю джерела світла з роздільною здатністю 30-50 нм.[1]

2 СЕНСОРИ КУТОВИХ КООРДИНАТ СОНЦЯ

2.1 Супутник класу CubeSat

CubeSat – це тип малогабаритних космічних апаратів. CubeSat побудовані за стандартними розмірами (одиниці або "U") розміром 10 см x 10 см x 10 см. Вони можуть мати розміри 1U, 2U, 3U або 6U і, як правило, не важче ніж 1,33 кг.

Супутники запускають з ракет і займають мало місця, що дає змогу запуску партіями в кількостях 10-20 супутників і більше. Супутники такого типу запускають як корисне навантаження до запланованих запусків і інших космічних місій. Кубовидні супутники складають приблизно десять сантиметрів завдовжки, мають об'єм близько одного кварту і важать близько 1,33 кг. Для участі в програмах досліджень, супутник класу CubeSat повинен відповідати Рамковій стратегічній координації освіти. Дослідження має стосуватися аспектів науки, розвідки, розвитку технологій, освіти або медицини. Надаючи прогресивні освітні можливості, у тому числі для студентів, викладачів та факультетів, програма використання супутників допомагає країнам залучати та утримувати студентів у дослідницьких програмах. Це зміцнює науку в світі та майбутню робочу силу нації. Крім того, дослідження сприяють і розвивають інноваційні технологічні партнерства між NASA, промисловістю деяких країн та іншими секторами розвитку на користь наукових програм і проектів. Таким чином, ми отримуємо механізм використання CubeSats для розробки недорогих технологій або розвитку наукових досліджень в космосі.[2]

2.2 Система орієнтації супутника в просторі за допомогою сенсорів

Оскільки одна із цілей CubeSat, полягає в тому, щоб здійснювати польоти для наукових і технічних корисних навантажень, тому часто важливо знати положення космічного апарату в космосі.

Мета системи визначення орієнтації (СВО) в просторі - визначити орієнтацію (або відношення) космічного корабля відносно відомого тіла. На рисунку 8 показано супутник на орбіті навколо Землі зі своїми відомими фіксованими осями.

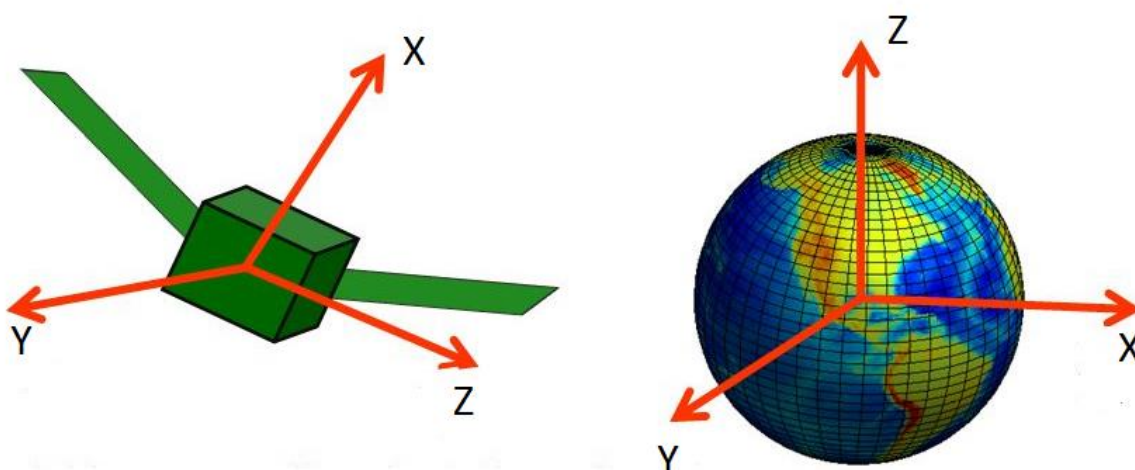


Рис. 8 – Корпус супутника відносно землі.

Системи орієнтації в просторі здатна визначати орієнтацію тіла відносно зовнішньої системи відліку. Це можна зробити, наприклад, за допомогою Сонця, напрямку магнітного поля або зірки як орієнтир. Кожен зовнішній орієнтир (наприклад, вимірюваний вектор, що вказує напрямок сонця) забезпечує лише два з трьох необхідних незалежних параметрів (кутова відстань осі тіла до вимірюваного вектора) для визначення позиції космічного тіла.

Як видно на рисунку 8, орієнтацію для космічного апарата на орбіті Землі можна визначити шляхом знаходження локальної геоцентричної вертикальної системи координат (ГВСК), в якій вісь z – це надир, в той час як осі x - та y - це вектори, що вказують на географічні напрями (Північ, Південь, Схід і Захід) геодезичного відтинку. Надир — уявна точка перетину прямовисної лінії або нормалі до поверхні земного еліпсоїда з небесною сферою, точка небесної сфери, протилежна zenіту. Це дорівнює центроспрямованій силі супутника і, отже, вказує напрямок походження земної системи відліку. Рисунок 9 показує той самий супутник, як на малюнку 8, але з локальною геоцентричною вертикальною системою координат визначеною та обчисленою за допомогою системи визначення орієнтації.

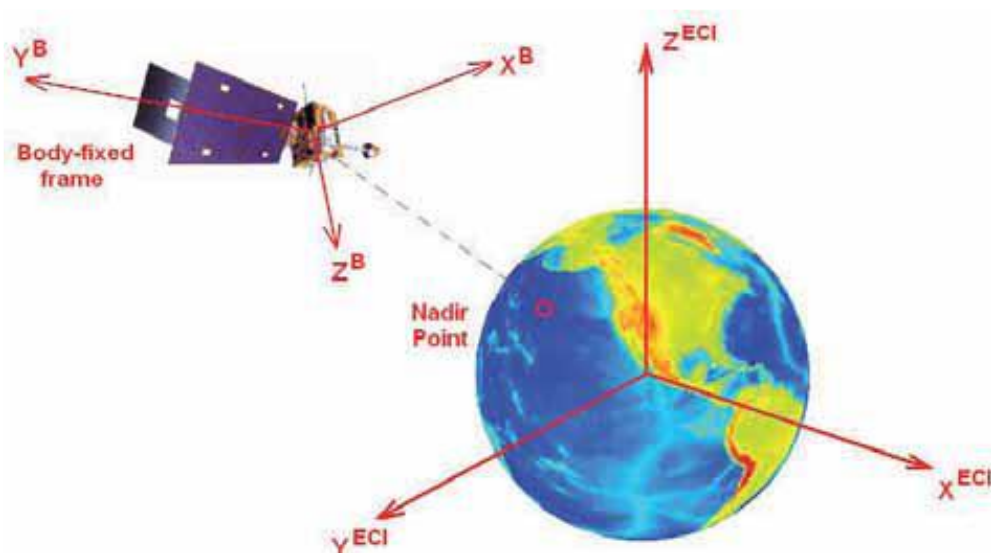


Рис. 9 – Система координат ГВСК супутника визначена СВО

Два варіанти (зафіксоване тіло та ГВСК) дозволяють СВО обчислювати орієнтацію супутника відносно визначеної системи відліку ГВСК. Один із способів обчислення різниці в орієнтації між двома варіантами полягає в тому, щоб обчислити похибку, висоту та кут обертання супутника відносно системи відліку. Це кути обертання в трьох вимірах щодо центру маси космічного апарата. Рисунок 10 показує цей метод. Червоні осі це ті що фіксуються корпусом, а чорні осі це лінії ГВСК.[3]

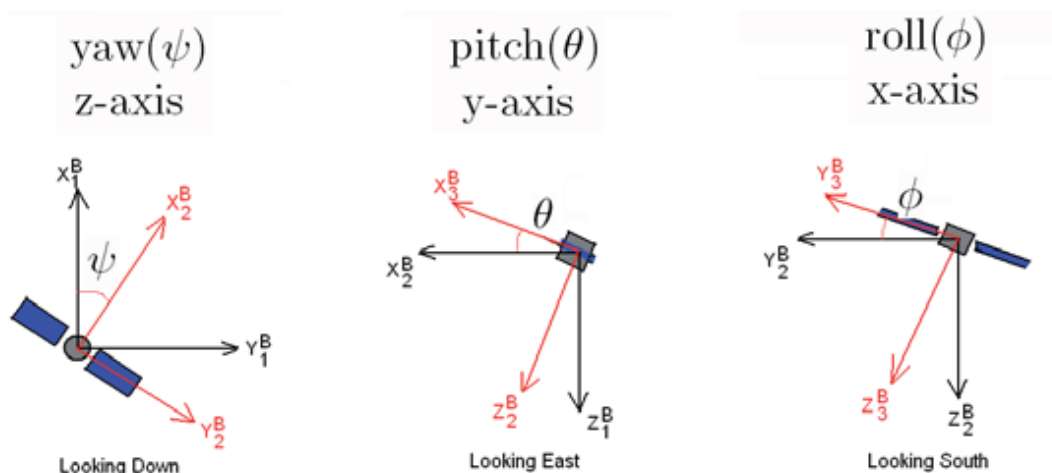


Рис. 10 – Похибка, висота і кут обертання супутника

Мета СВО може варіюватися в залежності від місії супутника.

Найпоширенішими цілями є навігаційні відгуки для супутників з активним керуванням (зміна орбитального моменту з використанням виконавчих механізмів) та інформація про положення комунікаційних антен. Для дистанційного зондування атмосфери або поверхні Землі необхідно знати надир супутника.

Активне управління орієнтацією особливо важливо для супутників з тривалим терміном служби. Космічний транспортний засіб завжди піддається впливу динамічних моментів в просторі внаслідок гравітаційного ефекту гравітації, впливу магнітного поля, впливу сонячної радіації та, залежно від висоти, аеродинамічних моментів. В загальному може бути два види різних моментів розладів: циклічні або секулярні. Циклічні моменти змінюються як функція синуса по орбіті, а секулярні моменти накопичуються з часом і не виходять на орбіту. Хоча ці розлади знаходяться в основному лише в діапазоні приблизно 10^{-4} вони з часом можуть призвести до переорієнтації космічного корабля. Щоб запобігти цьому, більшість космічних апаратів використовують будь-які магнітні сили, щоб пасивно стабілізуватись вздовж магнітного поля або знаходити збої, використовуючи СВО, щоб активно застосовувати коригувальні моменти. Для визначення опорної системи координат космічного апарату СВО зчитує данні з кількох різних підсистем (сенсорів). Як правило, сенсори поділяються на дві групи - інерціальні та кутові (або векторні) сенсори.[3]

2.3 Малогабаритні сенсори кутових координат Сонця

Однією з ключових проблем у розробці систем визначення та контролю для малих супутників є використання датчиків досить малих та достатньо ефективних, щоб вписатись у масові та енергетичні стандарти. Одним з найпростіших і найпоширеніших датчиків для визначення положення є датчик сонця, який вимірює кут падаючого світла від сонця щодо інерційної рамки тіла. Доступні як одновісні, так і двоосні датчики, хоча двовісний датчик може бути побудований з двох компактних одновісних датчиків, що призводить до зниження витрат на компоненти та вимог будови. Для виготовлення датчиків сонця використовуються як CCD, так і CMOS-технології для досягнення більшої точності вимірювання, також для підвищення точності датчика можуть використовуватися програмні методи. Хоча зараз доступно багато комерційних сенсоров Сонця для наносупутникового обладнання системи навігації, у багатьох програмах розвитку нано-супутників бажано розробляти власні датчики Сонця, використовуючи наявні технології і обладнання, це вигідно, як з точки зору витрат, так і для збільшення потенціалу для подальших досліджень у рамках власної програми. Сенсори Сонця також застосовуються на планетарних роверах, коли інших датчиків,

таких як магнітометри або приймачі GPS, недостатньо. Типові вимоги включають точність на 1 градус і поле зору 30 градусів або 60 градусів. Сенсори Сонця із широким полем зору використовуються в основному на платформах CubeSat. Датчики з низькими витратами для використання в дослідженні зазвичай побудовані аспірантами та дослідниками і повинні бути ефективними, компактними за розмірами та достатньо міцними, щоб працювати в космічному середовищі.

2.4 Щілинний 2-х координатний пристрій визначення кутових координат Сонця на монокристалічному кремнії

Конструктивно пристрій представляє з себе двокоординатний сенсор, що розміщується на склотекстолітовій платі, на якій зі зворотньої сторони розміщена схема електронної обв'язки та термоконтролю сенсора. Схематично конструкцію сенсора приведено на рисунку 11

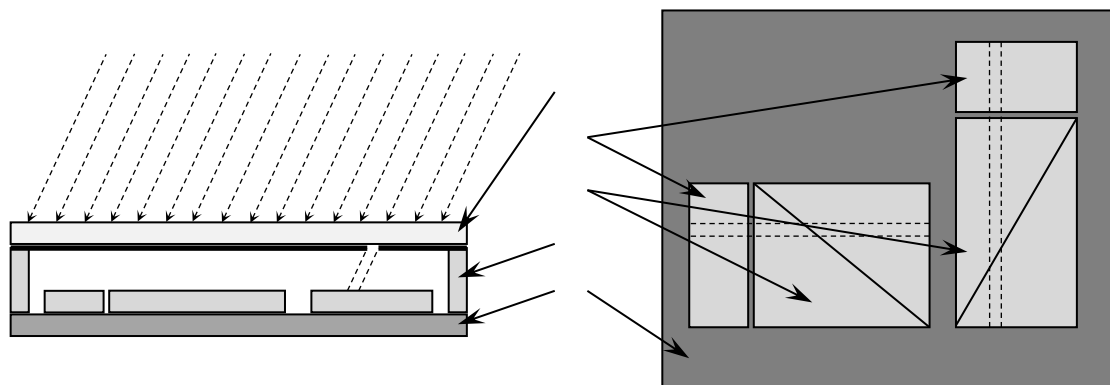


Рис.11 – Схематичне зображення розробленого щілинного сенсора.

Сенсор складається з горизонтального та вертикального каналів 3, змонтованих на одній ситаловій підкладці 5. Над каналами на дистанційному колодязі 4 закріплена мембрана з радіаційно-стійкого скла 1 з щілинами, сформованими фотолітографічним методом у нанесеному шарі металізації. Кожен канал представляє з себе два кристали кремнієвих монокристалічних фотоелектричних перетворювачів – опорний 2 та робочий 3 фотоелементи. Робочий канал представляє з себе два фотоелементи трикутної форми виконані на одному кристалі для зняття диференційного сигналу, який залежить від кута освітлення щілини. Опорний канал потрібен для нормування сигналу робочого каналу при крайніх кутах освітлення та виключення фактору впливу відбитого випромінювання Сонця від Місяця та Землі.[3]

В якості базового матеріалу для фотоперетворювачів було обрано монокристалічний кремній, що обумовлено його низькою ціною та відпрацьованою технологією. Технологічно фотоелектричні перетворювачі ґрунтуються на стандартній технології виготовлення фотоелектричних перетворювачів наземного використання. Особливість експлуатації за умов навколоземного простору вимагає незначної модифікації технології у вигляді заміни захисного скла елементів на противідбивне пасивуюче покриття оксидом індія-олова. Та додаткове глибоке травлення кремнію для створення несиметричної пари фоточутливих областей (мезоструктур). Доцільним є використання стандартних пластин кремнію КДБ-10 орієнтації (111) товщиною 450 мкм.

Розміри фоточутливих областей розраховувались з урахуванням густини струму для фотоелементів та габаритних обмежень, що виникають через особливості розміщення на зовнішніх панелях малогабаритних супутників. Результуючі розміри елементів робочих каналів $4,3 \times 6,1 \text{ мм}^2$, а опорних $4,3 \times 2,5 \text{ мм}^2$.

Для забезпечення кута зору $\pm 60^\circ$ була розрахована відстань до мембрани, що складає 1 мм. Дистанційний колодязь вирішено виготовляти з 3-х шарів монокристалічного кремнію для досягнення необхідної висоти.

Ширина щілини обиралась з урахуванням густини струму для фотоелементів та вимог до лінеаризації кутової характеристики. Оптимальною визначено ширину щілини 0,5 мм. Матеріал мембрани – скло К-108.

Для виключення взаємного засвічування каналів було передбачено дистанціювання фоточутливих елементів на відстань 1,7 мм, що виключає взаємний вплив при кутах більше 60° .

На рисунку 12 приведено ескізи розроблених за результатами розрахунків фоточутливих елементів та топології ситалової підкладки.

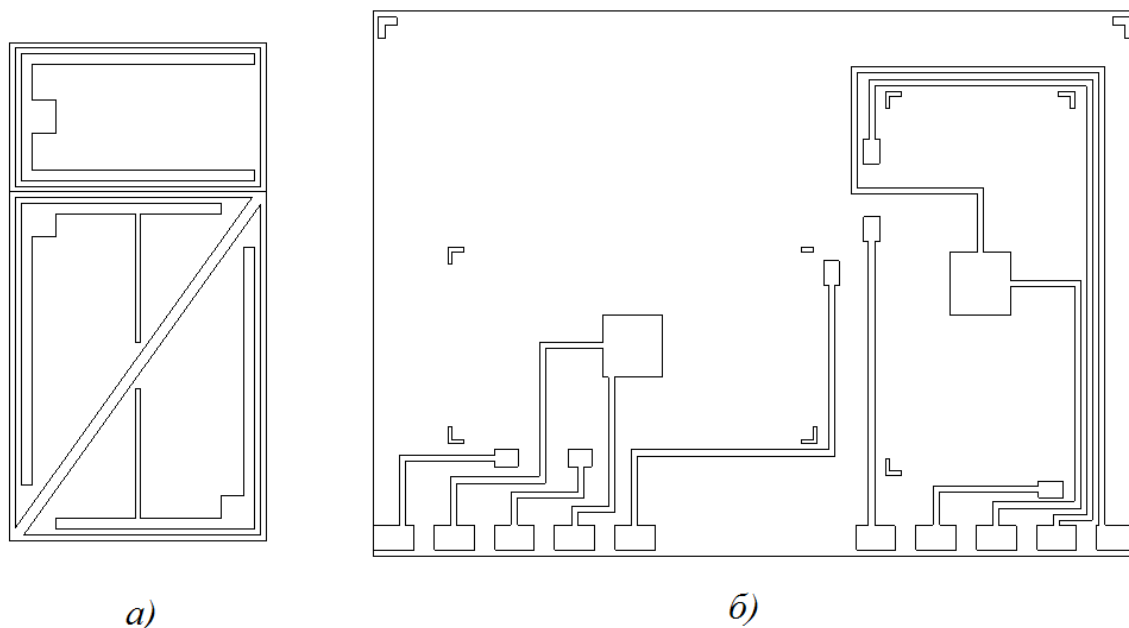


Рисунок 12 – Ескізи фоточутливих елементів (а) та ситалової підкладки (б).

Для виключення впливу навантаження, підсилення сигналу та приведення його у необхідний для аналізу діапазон використовувалась схема на операційних підсилювачах. На рисунку 13 приведено використовувану схему підсилення та первинної обробки сигналів з сенсора.[4]

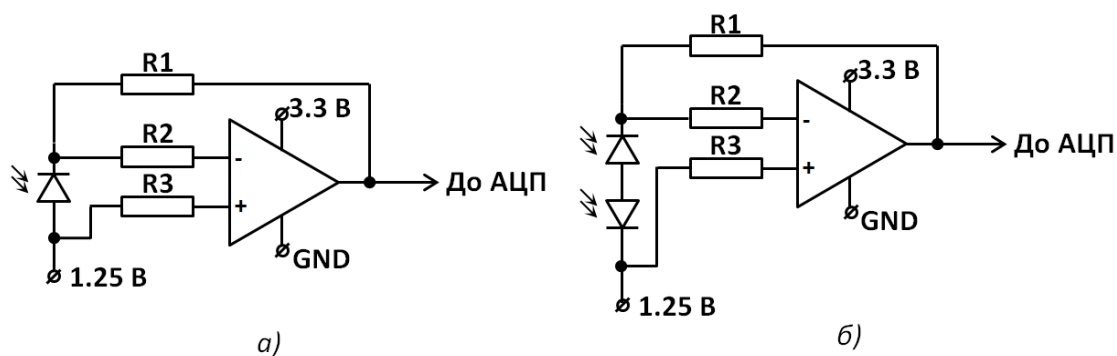


Рис. 13 – Схеми підключення опорного (а) та робочого (б) каналів сенсорів.

3. СКЛАД ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ ІМІТАТОРА СОНЦЯ

3.1 Опис конструкції імітатора Сонця

Випробувальний стенд імітатора Сонця (далі імітатора) складається з точкового джерела випромінювання (ксенонова лампа типу ДКСШ-3000), фокусуючої оптичної системи, пристрою усереднення та вирівнювання світлового потоку на робочій площі (інтегратор), пристрою формування кутових розмірів астро-об'єкту (діафрагма) і формувача паралельного світлового потоку (об'єктив). Установка імітатора розрахована для роботи від мережі трифазного змінного струму частотою 50 Гц, напругою 380 В, що забезпечує живлення пристрою 50ВУК-120, який є джерелом живлення ксенонової лампи.



Рис.14 – Загальний вид випробувального стенду

Експлуатаційні умови роботи установки в приміщенні з температурою навколишнього середовища від $+15$ до $+35$ °С, відносною вологістю не більше 80% при температурі $+25$ °С і атмосферному тиску від $8.6 \cdot 10^4$ до $10.6 \cdot 10^4$ Па.

В установці є примусово повітряна система охолодження лампи, система водяного охолодження оптичного інтегратора і діафрагми.

На випробувальному стенді використовується ксенонова дугова лампа високого тиску ДКСШ-3000.

Типовий спектральний склад випромінювання ксенонового газового розряду у лампи високого тиску у порівнянні з сонячним спектром в залежності від «маси» атмосфери наведено на рис. 15 (Умовна товщина повітряної маси різна для різних кутів (і) положення Сонця $M = 1$ - Сонце в zenіті; $M = 2$ при $\beta = 60^\circ$).[2]

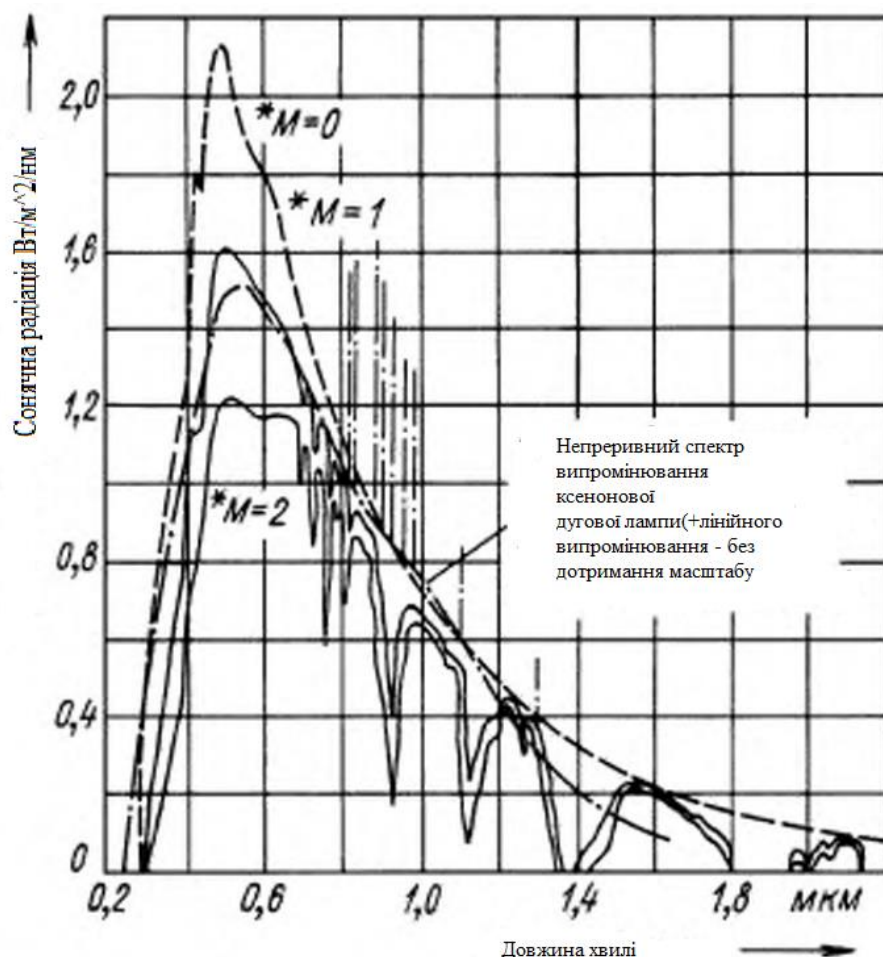


Рис. 15 – Порівняння випромінювання тимчасової дугової лампи високого тиску з кривими спектрального розподілу сонячного випромінювання для повітряних мас 0-1 і 2.[4]

Спектральний склад випромінювання ксенонового газового розряду практично не залежить від потужності лампи. Слід зауважити що з часом роботи ксенонової лампи високого тиску в інфрачервоній області спектру додається складова випромінювання від розпечених електродів. Відносна енергія цього випромінювання для ламп з коротким розрядним проміжком значно більше, ніж з довгим, і впливає на кінцевий спектр імітатора. У ламп з різною потужністю температура електродів буде різною, а отже, буде різний і спектральний склад їх випромінювання. При використанні ламп з

довгим розрядним проміжком інфрачервоне випромінювання електродів зазвичай не суттєве в загальному енергетичному балансі.

Всі типи ламп потребують періодичної заміни, оскільки їх інтенсивність випромінювання, постійно зменшується з плином часу і в процесі експлуатації інтенсивність випромінювання, може змінюватися у різних ламп по-різному. Конструктивні особливості ламп з короткими розрядними проміжками обумовлюють значно ширші виробничі допуски, ніж у ламп з довгими розрядними проміжками. Це особливо важливо враховувати при заміні ламп. Незважаючи на зміну інтенсивності випромінювання в процесі експлуатації відносний спектральний склад випромінювання ксенонового розрядного проміжку залишається практично незмінним, так як ксенон є бездомішковим чистим елементним газом.[4]

Ксенонова дугова лампа високого тиску ДКсШ-3000 (рис.16) випромінює безперервний спектр, близький до сонячного. Світлове випромінювання від лампи і контр відбивача направляється еліпсоїдним відбивачем в оптичну систему, яка формує на опромінену майданчику потік світлового випромінювання з необхідними кутовими розмірами.



Рис.16 - Ксенонова лампа надвисокого тиску ДКсШ 3000

Регулювання щільності світлового потоку в робочій зоні здійснюється регулюванням струму ксенонової лампи за допомогою стабілізованого випрямляча 50ВУК-120-1 в діапазоні 50-120 А та механічним регулюванням положення елементів оптичної системи імітатора (фокусування / розфокусування світлового променя) .

Час напрацювання лампи контролюється лічильником, зображеним на рис.17



Рис.17 - Лічильник для контролю часу напругування ксенонової лампи

Випрямний пристрій 50ВУК-120 призначений для живлення ксенонової лампи потужністю 3 кВт. Живиться від мережі трифазного змінного струму напругою 3х220 або 3х380 В з глухим заземленням нейтралі (нульовим проводом) при частоті 50 Гц.

Нормальна робота випрямляча можлива при коливанні напруги мережі живлення від 85 до 110% номінального значення. Номінальний випрямлений струм 120 А. Номінальна випрямлена напруга 25 В. Напруга розімкненого кола випрямляча в момент розпалу ксенонової лампи 95 В.

Стабільність встановленого струму ксенонової лампи в номінальному режимі $\pm 5\%$. Пристрій допускає плавну зміну струму в ланцюзі навантаження від 60 до 130 А при номінальних значеннях напруги входу і виходу. Коефіцієнт корисної дії не менше 73%. Коефіцієнт потужності не менше 0,5.

Режим роботи випрямляча - повторно-короткочасний (через кожні 50-60 хв перерва). Пристрій розрахований на роботу в закритому, добре вентильованому приміщенні, при температурі навколишнього повітря від $+5$ до $+35$ ° С і відносній вологості повітря в приміщенні не більше 85%.

3.2 Оптична схема

Оптична схема точкового джерела випромінювання із заданою спектральною характеристикою показана на рис.18 і складається з точкового джерела випромінювання 1 (ксенонова лампа типу ДКсШ-3000), еліптичного відбивача 2, контрвідбивача 3, діафрагми 4.

Для точної установки контрвідбивача щодо розряду ксенонової лампи використовується контрольно-юстувальна система, яка складається з лінз-5, плоских дзеркал-6 і матового контрольного екрану - 7.

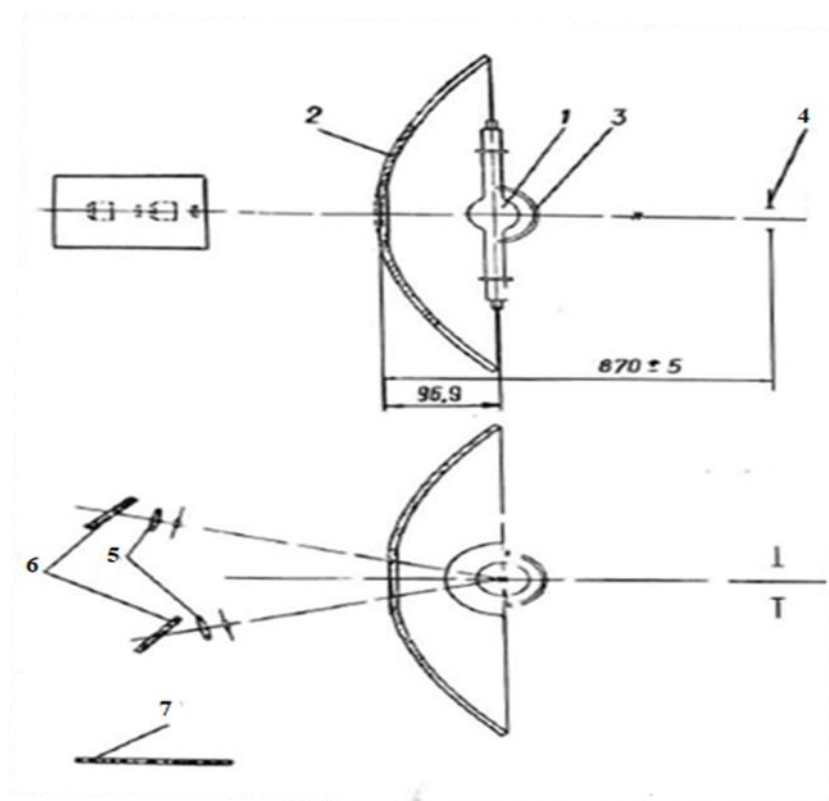


Рис.18 - Оптична схема точкового джерела випромінювання.

На рис. 19 представлена оптична схема формувача плоско-паралельного пучка, яка складається з діафрагми 1, оптичного інтегратора 2, об'єктива 3 і робочої зони 4.

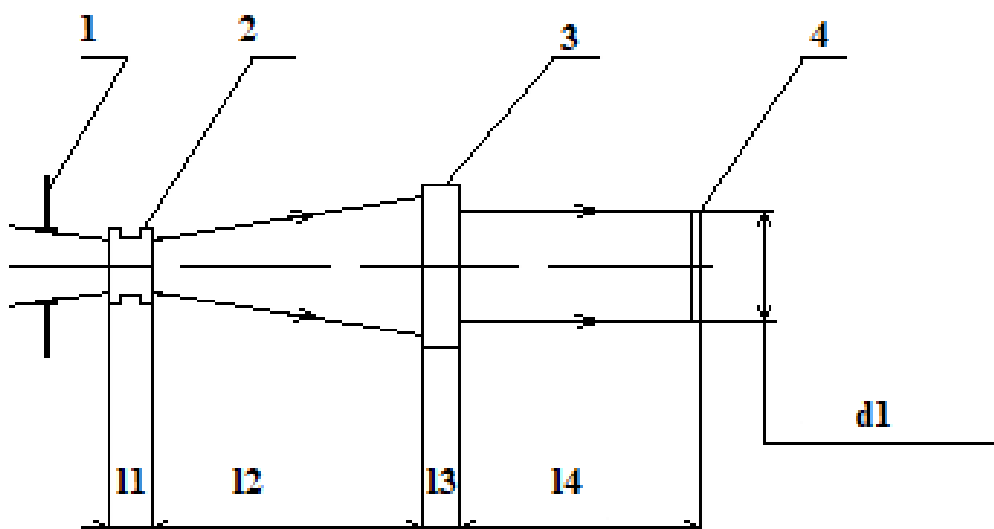


Рис 19 - Оптична схема формувача плоско-паралельного пучка.

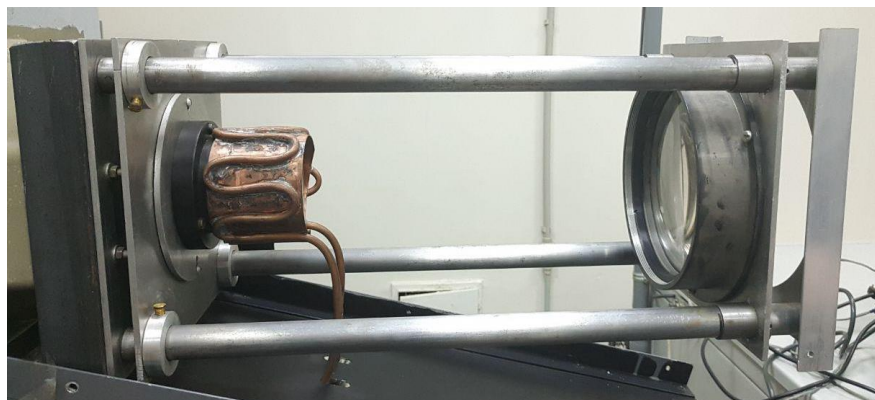


Рис. 20 - Загальний вигляд оптичної схеми.

Оптичний інтегратор (рис.20), встановлюється у фокусі еліпсоїдного відбивача точкового джерела випромінювання і спільно з діафрагмою дозволяє створити необхідно рівномірний з симетричним світлорозподілом і незначним спадом сили світла від осі до периферії світловий пучок необхідного кутового розміру.



Рис 20 – Оптичний інтегратор

Оптичний інтегратор складається з однакових за формою і розмірами встановлених впритул оптичних кварцових стержнів (рис.21). Принцип дії оптичного інтегратора полягає в дробленні оптичними елементами падаючого нерівномірного потоку випромінювання на елементарні світлові пучки з подальшим їх накладенням на освітлювальну поверхню. Вирівнюючі властивості оптичного інтегратора будуть збільшуватися зі збільшенням кількості оптичних елементів.

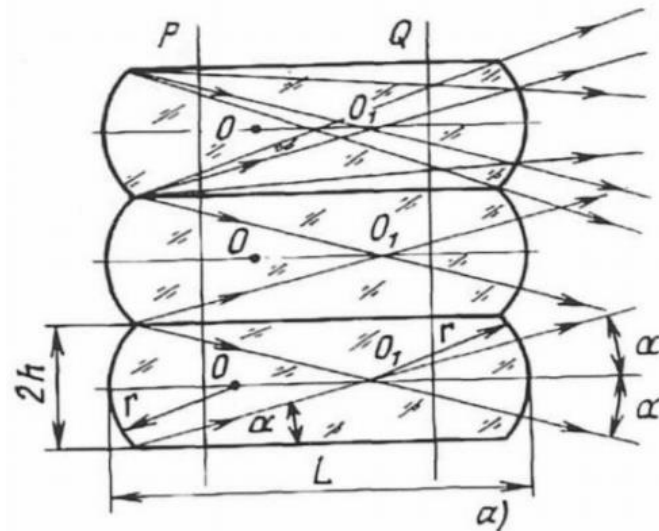


Рис.21 - Схематичне зображення оптичного інтегратора

В складі освітлювального блоку застосовується еліпсоїдний відбивач, він діє в поєднанні з контр відбивачем, який збільшує світловий потік точкового джерела випромінювання. Зона газового розряду міжелектродного простору лампи проектується системою відбивачів в площину діафрагми.

3.2.1 Система юстування

Ксенонова лампа кріпиться до лампотримача еластичними подовжувачами, зображено на рис 22.

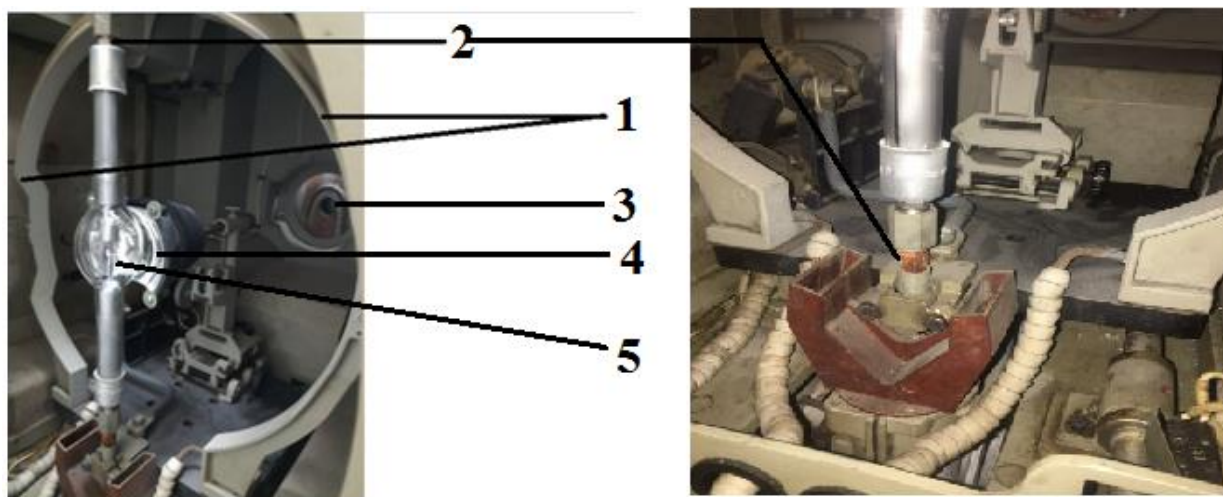


Рис. 22 - Кріплення ксенонової лампи, де:

1-лампотримачі; 2 - еластичні подовжувачі; 3 - діафрагма; 4 – контр відбивач; 5 - ксенонова лампа типу ДКсШ-3000.

Контр відбивач може переміщатися уздовж оптичної осі, поперек і вертикально рукоятками, зображеними на рис.23

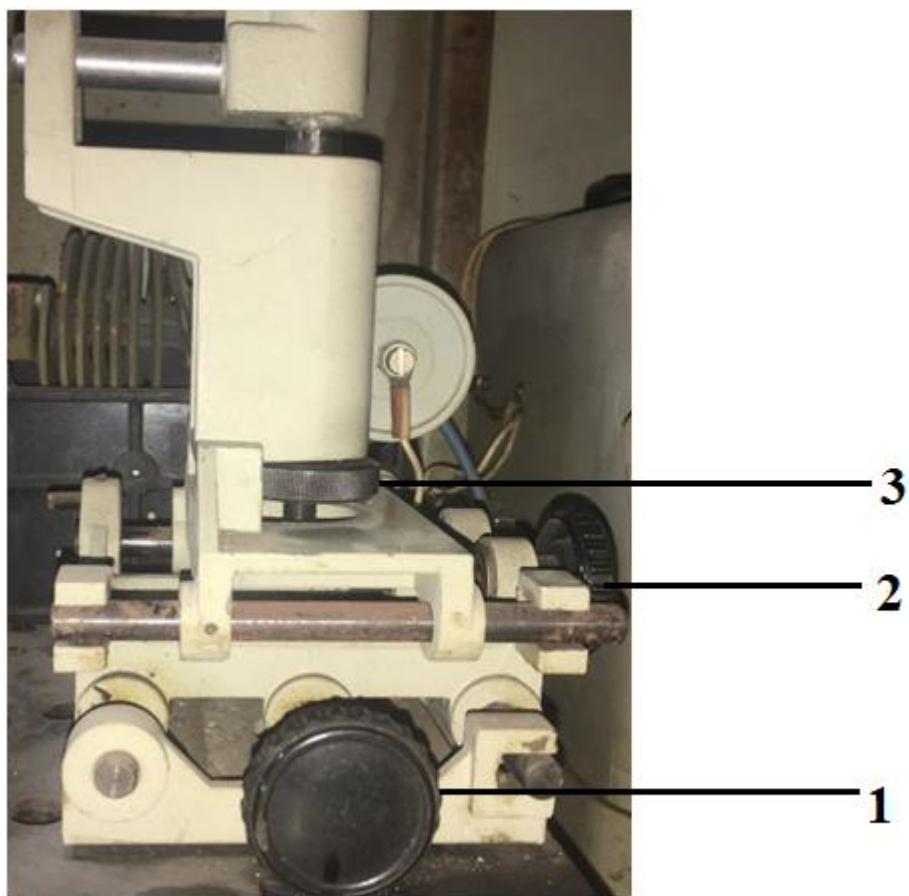


Рис.23 - Рукоятки для переміщення контр відбивача, де

1-уздовж оптичної осі;

2-поперек оптичної осі;

3 -вертикально.

На рис. 24 зображено положення знімних рукояток в корпусі джерела Сонця. Знімна рукоятка (3) надає користувачам можливість ксенонової лампи разом з контр відбивачем уздовж оптичної осі (фокусування / розфокусування). За допомогою знімною рукоятки (1) можна переміщати відбивач в горизонтальній площині. За допомогою рукоятки (2) відбивач регулюється вертикальній площині.

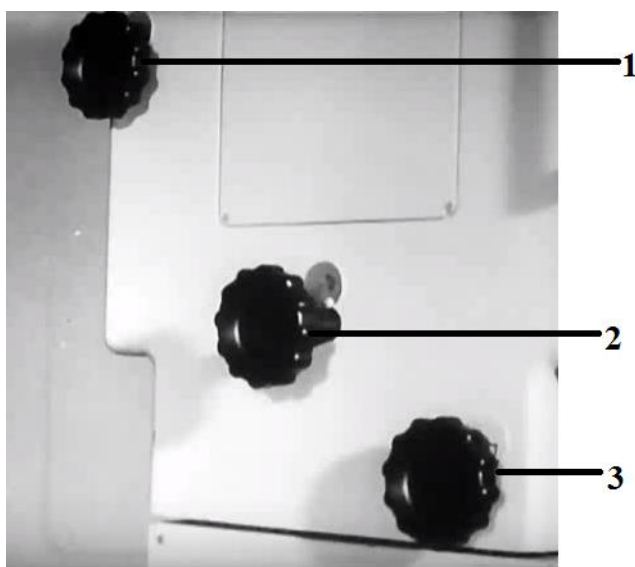


Рис.24 - Розташування знімних рукояток в корпусі імітатора Сонця, де

1 - рукоятка для регулювання відбивача в горизонтальній площині;

2 - рукоятка для регулювання відбивача в вертикальній площині;

3 - рукоятка для переміщення ксенонової лампи разом з контр відбивачем уздовж оптичної осі.

В процесі юстирування контр відбивача щодо області газового розряду лампи використовується контрольно-юстувальна система, зображена на рис.25, яка полегшує процес регулювання положення контр відбивача.

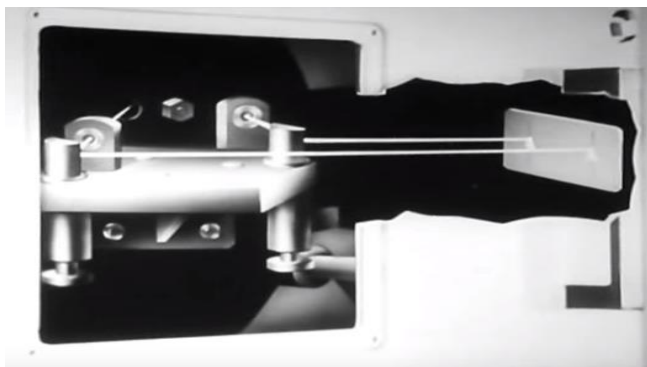


Рис.25 – контрольно-юстувальна система

Для встановлення та юстирування ксенонової лампи попередньо контр відбивач потрібно відсунути вправо по оптичній осі. Юстирування ксенонової лампи починається з її установки. Регулювання розташування лампи по висоті здійснюється за допомогою переміщення еластичних подовжувачів (рис.26) показано регулювання ксенонової лампи. Ксенонова лампа встановлюється так, щоб відстань від катода до

візирної лінії становило одну третину міжелектронного проміжку. Центр лампи повинен бути на рівні зрізу відбивача.

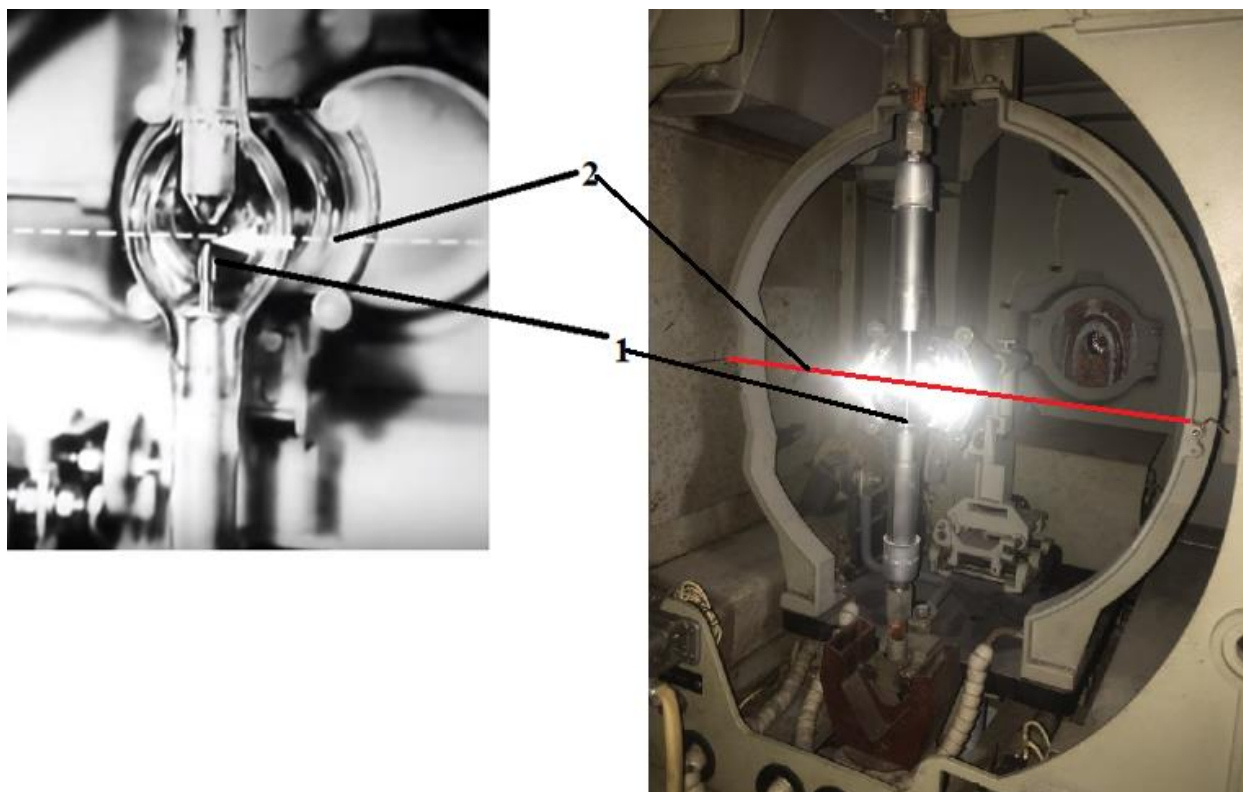


Рис.26 - Регулювання ксенонової лампи по висоті, де:

1- катод;

2 - візирна лінія.

Далі юстирування відбувається при запаленій лампі і в номінальному режимі. Регулюванням положення лампи і контр відбивача домагаються по контрольному датчику (рис. 27) правильного розташування зображення розряду лампи. Контр відбивач встановлюють так, що б здобути ним зображення на контрольному екрані співпало із зображенням розряду лампи.

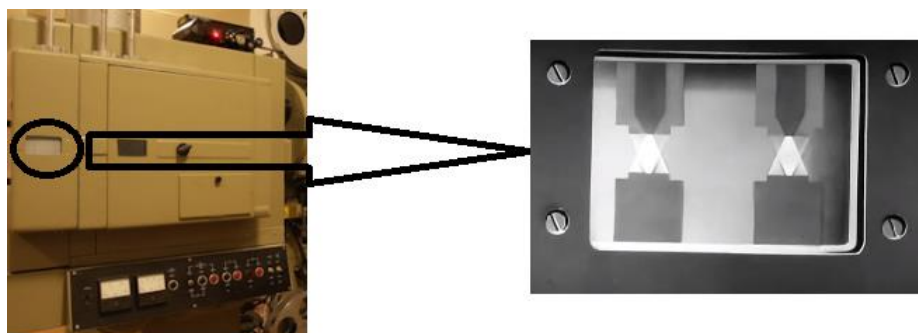


Рис. 27 – Контрольний датчик.

3.3. Юстування випробувального стенду

3.3.1 Юстирування світлового потоку

Механічне юстирування стенду здійснюється за допомогою лазерних рівнів на предмет паралельності елементів системи оптичної осі.

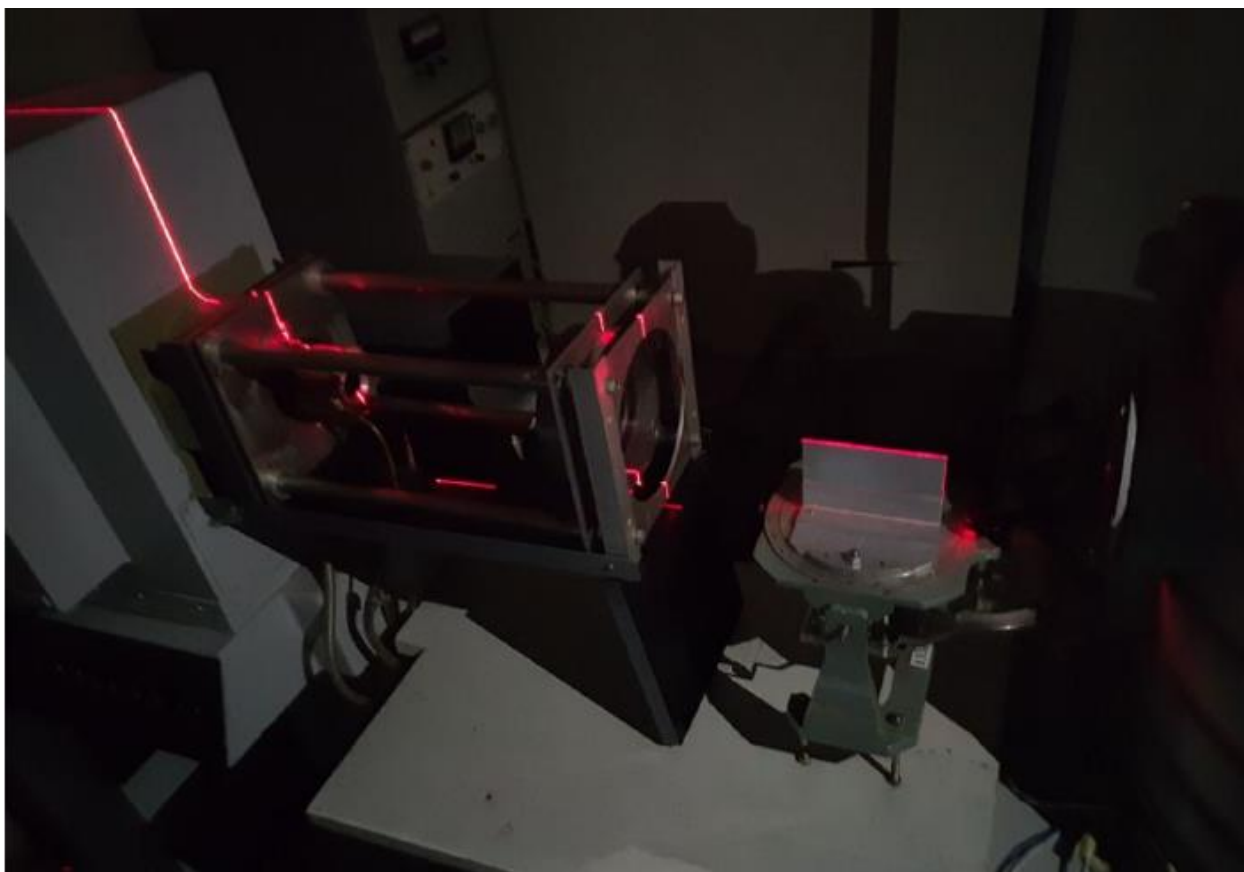


Рис. 28 – Ілюстрація процесу механічного юстування стенду за допомогою лазерних рівнів.

Юстирування світлового потоку позначає забезпечення паралельність світлових променів.

Послідовність процесу юстирування. На оптичний інтегратор встановлюють діафрагму з малим отвором (діаметр ≈ 1 мм, рис. 29). На виході оптичної схеми (поза межами об'єктиву) можливо встановлення дзеркала для забезпечення максимальної відстані від діафрагми до проекції на екрані. Змінюючи положення об'єктива отримуємо проекцію зфокусованого зображення з мінімальними лінійними розмірами отвору діафрагми.



Рис.29 - Юстувальна діафрагма.

3.3.2 Калібрування щільності світлового потоку

Щільність світлового потоку повинна відповідати $1350-1440 \text{ Вт / м}^2$. Дані вимірювання проводяться за допомогою датчика світлового потоку ФОА-035. Загальний вигляд вимірювального стенда показаний на рис. 30

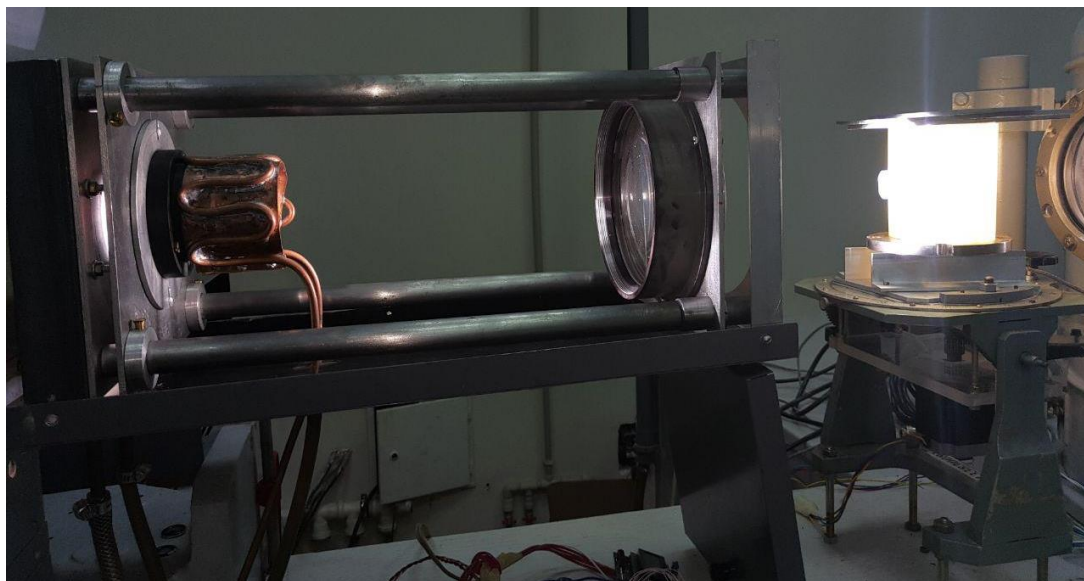


Рис. 30 - Процес вимірювання світлового потоку стенду.

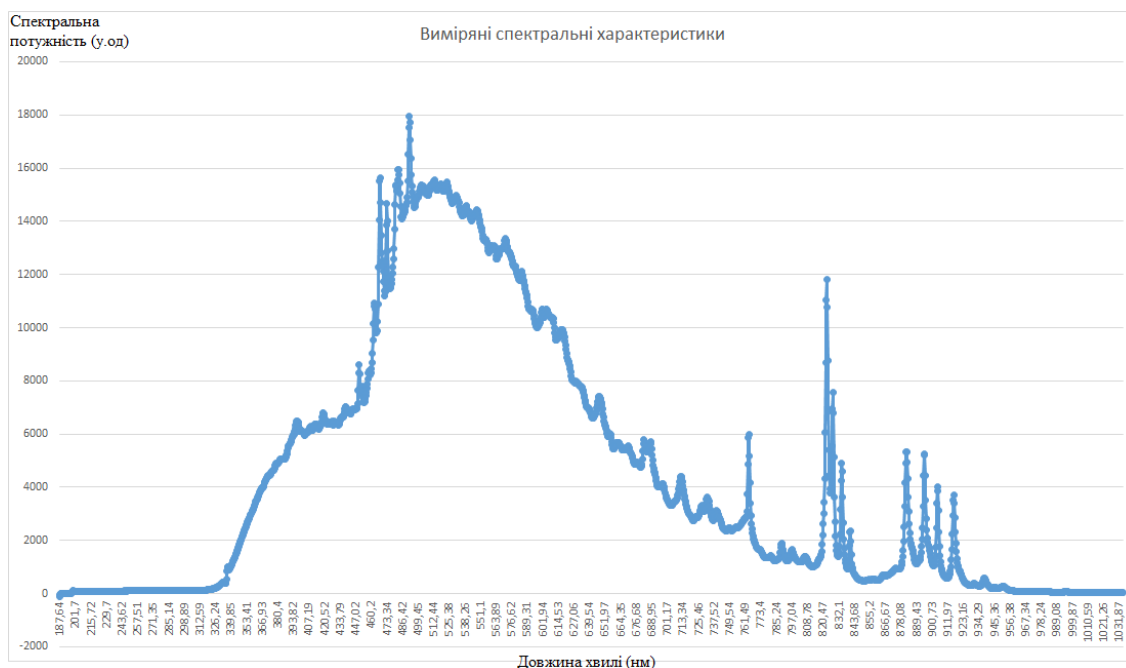


Рис.31 – Спектральна характеристика

Для вимірювання інтенсивності імітованого сонячного випромінювання застосовують два типи піранометрів. Їх дія заснована на використанні термопари.

а) піранометра Молля-Горчинського

Піранометра Молля-Горчинського нікого складається з 14 константових-манганінових смужок (10 x 1x 0.005 мм), розташованих таким чином, що їх «гарячі» спаї лежать в одній площині і утворюють горизонтальну поверхню, покриту чорним лаком, мають низьку теплопровідність.

Кінці «холодних» спаїв загнуті вниз, щоб здійснювати теплообмін з мідною пластиною, що має велику теплоємність. Чутлива поверхня знаходиться під двома концентрично розташованими скляними напівсферичними ковпаками.

б) піранометр Еплі

Піранометр Еплі складається з двох концентрично розташованих срібних кілець товщиною 0.25 мм. Внутрішнє кільце зачорнене для забезпечення повного поглинання випромінювання, а зовнішнє кільце вибілене для відображення променів у видимій та інфрачервоній областях спектру. «Гарячі і холодні» спаї знаходяться в теплообміні з кільцями, які укладені в скляний балон діаметром 76 мм, наповнений сухим повітрям.

При вимірюванні цими приладами вплив довгохвильової частини інфрачервоного випромінювання зразка або випромінювання стінок випробувальної камери не має істотного значення.

В процесі вимірювання за допомогою датчика ФОА-035 знімається значення ЕРС і опору терморезистора вбудованого в корпус датчика.

Розрахунок загального радіаційного потоку здійснюється за формулою (1).

$$q = \frac{1}{K_{20}} \left(\frac{E}{1 + \alpha(R - R_{20})} \right), (1)$$

Де Е - ЕРС теплоприймача, мВ (контакти 3-4 для датчика світлового потоку);

$K_{20} = 3,11 \frac{\text{мВ} \cdot \text{м}^2}{\text{кВт}}$ - коефіцієнт чутливості датчика при температурі 20°C;

$R_{20} = 177 \text{ Ом}$ величина опору терморезистора датчика при температурі 20°C;

$\alpha = 0,0133 \text{ Ом}^{-1}$ - коригувальний температурний коефіцієнт;

R- вимірювальний опір терморезистора, Ом (контакти 1-2 для датчика світлового потоку);

Досягнення необхідних значень світлового потоку здійснюється за допомогою змінювання струму розряду дугової лампи ДКсШ-3000. У разі неможливості досягнення потрібних значень зміною електричних параметрів (вихід за межі паспортних значень) допускається регулювання за допомогою оптичної схеми точкового джерела (проводиться розфокусування джерела світла переміщенням лампи уздовж оптичної осі - ручка (1))

4. АПАРАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕНСОРІВ

4.1 Поворотний столик для вимірювання кутових характеристик сенсора

Конструкція столика складається з таких частин:

- ☐ Рухома (1) і нерухома станина (2).
- ☐ На рухомий станини розміщений механізм повороту (3).
- ☐ Кроковий двигун (4).
- ☐ Передавальна шестерня діаметром 142 мм (5).
- ☐ Кріплення для сенсора кутових координат (6).

Загальний вигляд конструкції представлений на рис. 32

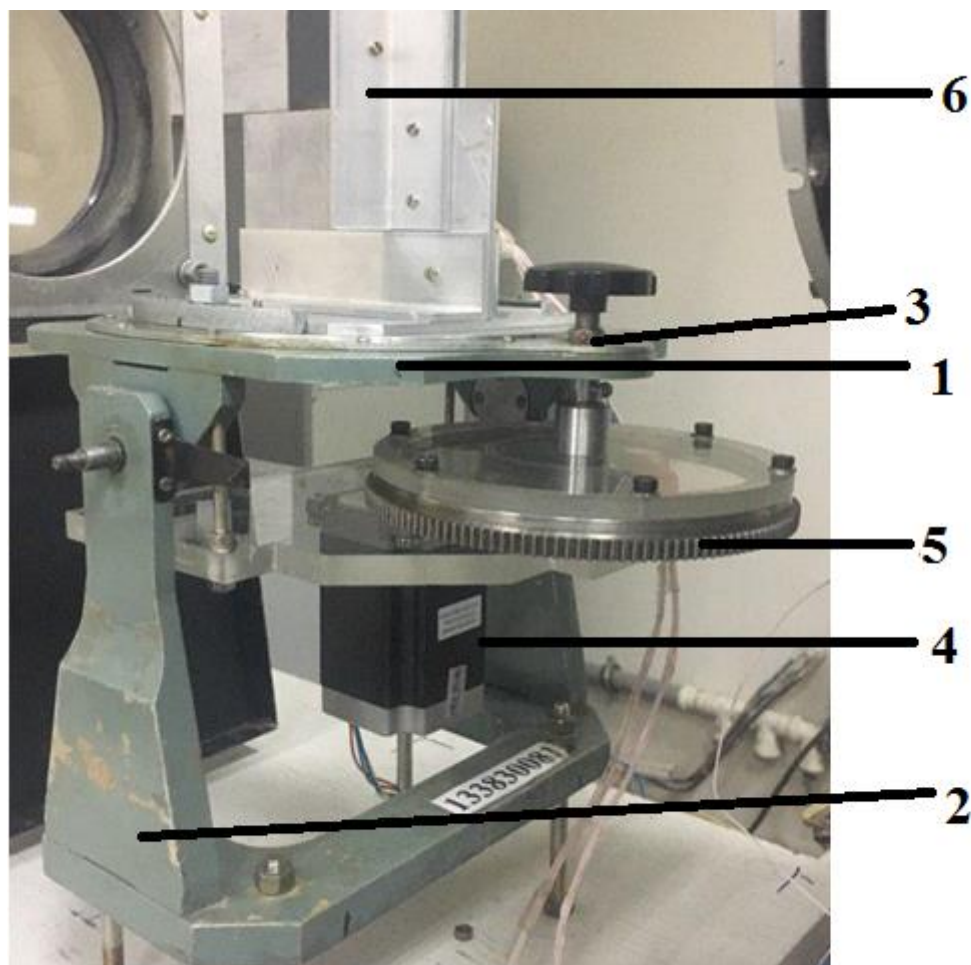


Рис.32 - Загальний вид поворотного столика.

Механізм повороту складається з двох шестерень, які забезпечують поворот сенсора на заданий кут. Шкала градусів нанесена на поверхню столика і є

індикаторною. Кут повороту задається програмно і визначається параметрами крокового двигуна і сумарним передавальним числом передавальних шестерень рис. 20.

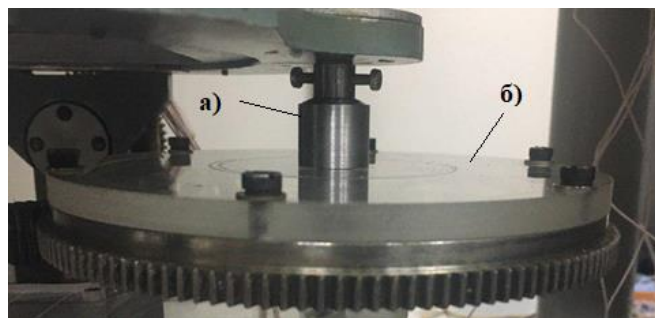


Рис.33 - вид збоку поворотного столика, де:

а) - перехідна втулка, б) - перехідна шестерня.

Перехідна шестерня забезпечує передачу обертального моменту між механізмом повороту і кроковим двигуном 57ВНН76-300D-25С.

Кріплення для сенсора кутових координат складається з предметного столика, пластини і з 4-х кутових пластин (рис. 34). Конструкція забезпечує розміщення і регулювання сенсора строго перпендикулярно світловому потоку.



Рис.34 – Кріплення і вид зверху кріплення для сенсора.

4.2 Програмно-апаратний комплекс

Для проведення вимірювань використовується наступний комплекс:

- Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) I-7018 «ICPDAS».
- Конвертор I-7520 інтерфейсів RS-232 в RS-485 «ICPDAS».
- Схема комутації та живлення сенсора кутових координат Сонця (СУКС)
- Система управління кроковим двигуном і синхронізації вимірювань (Arduino типу ArduinoPRO MINI з використанням драйвера управління крокового двигуна)

4.2.1 Опис АЦП I-7018

АЦП I-7018 - це мережевий модуль збору та управління даними, що забезпечує аналого-цифровий, цифро-аналоговий, цифровий введення / виведення, таймер / лічильник і інші функції. Модуль може керуватися дистанційно за допомогою набору команд - протокол виробника пристрою DCON компанії виробника ICPDAS. Зв'язок між модулем і хостом здійснюється в форматі ASCII через двонаправлений інтерфейс послідовної шини RS-485. Швидкість передачі даних послідовного програмується і може бути обрана швидкість передачі до 115,2 Кбод.



Рис.35- Зовнішній вид АЦП I-7018

АЦП I-7018 підключається до ПК за допомогою перехідника I-7520 (Рис. 36).

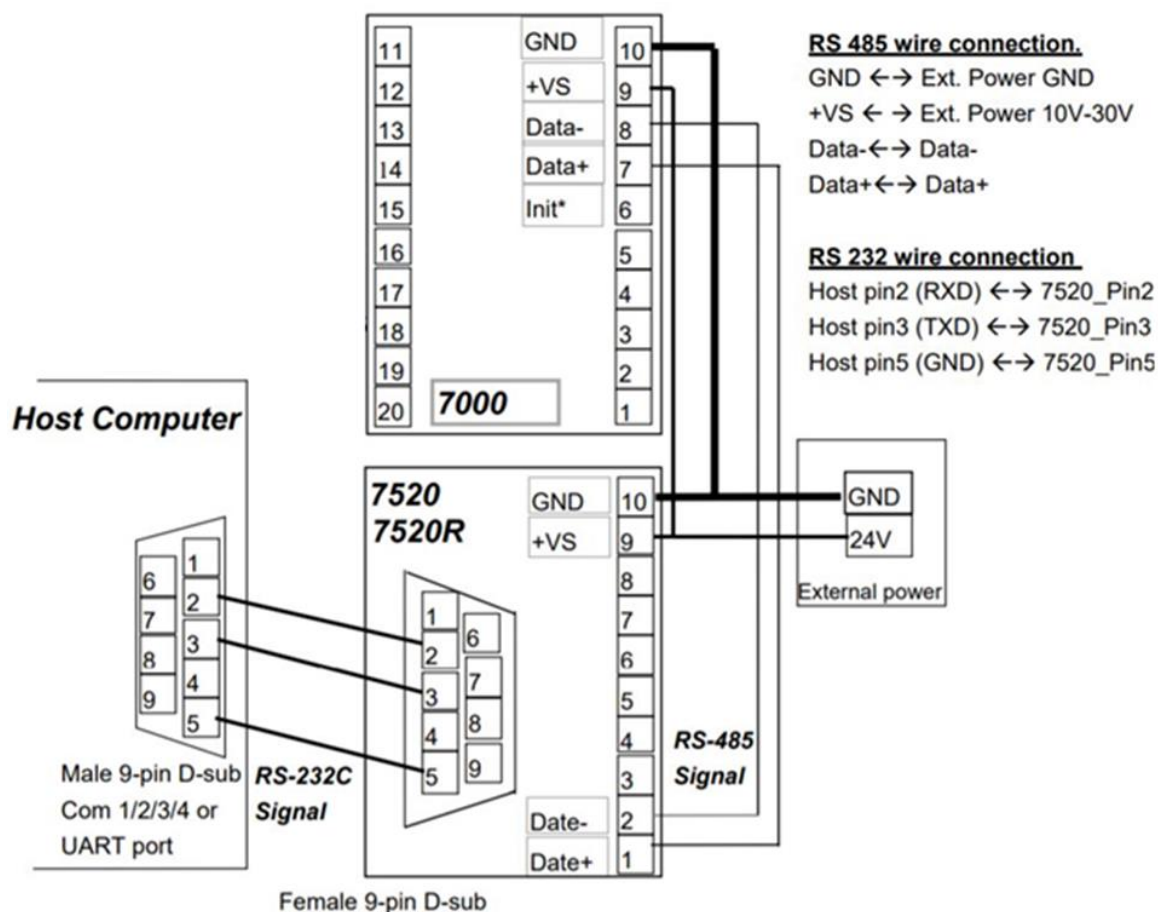


Рис.36 - Схема підключення АЦП до ПК

Для синхронізації вимірювань з системою керування крокового двигуна з останнього знімається сигнал з порту Arduino і подається на виділений канал АЦП.

4.2.2 Опис конвертора I-7520 інтерфейсів RS-232 в RS-485 "ICPDAS"

I-7520 дозволяє створити систему зв'язку телекомунікації з використанням стандартного апаратного забезпечення ПК (АПЦ (АЦП I-7018) \Rightarrow RS-485 \Rightarrow RS-232 \Rightarrow ПК. Стандарт RS-485 використовуючи лінії диференціального напруги для сигналів даних і управління, які перетворюють сигнали RS-232 в ізолюваний сигнал RS-485 без необхідності зміни будь-якого апаратного або програмного забезпечення.



Рис.37 - Зовнішній вид конвертора I-7520

4.2.3 Схема комутації та живлення сенсора кутових координат Сонця

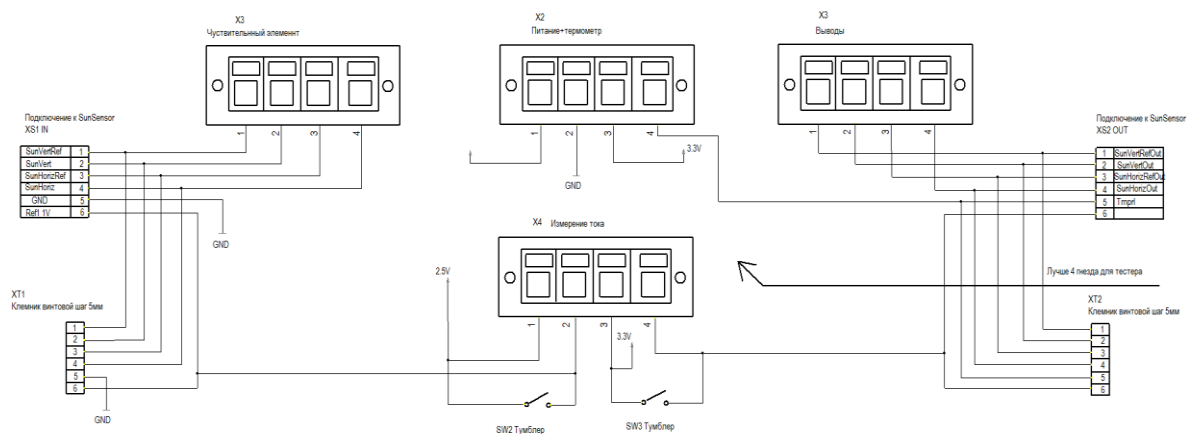


Рис.38 - Схема комутації та живлення СККС

На рис. 38 представлена схема блоку комутації і живлення СККС. В даній схемі реалізовані виводи для підключення до СККС і АЦП, на схемі вони позначені XS1 / XS2 і XT1 / XT2 відповідно. Виводи XS1 і XT1 - вхідні, XS2 і XT2 - вихідні. Також в блоці комутації передбачена подача напруги живлення 3.3В і референсної напруги 1 В, принципові схеми яких представлені на рис. 39 і рис. 30 відповідно.

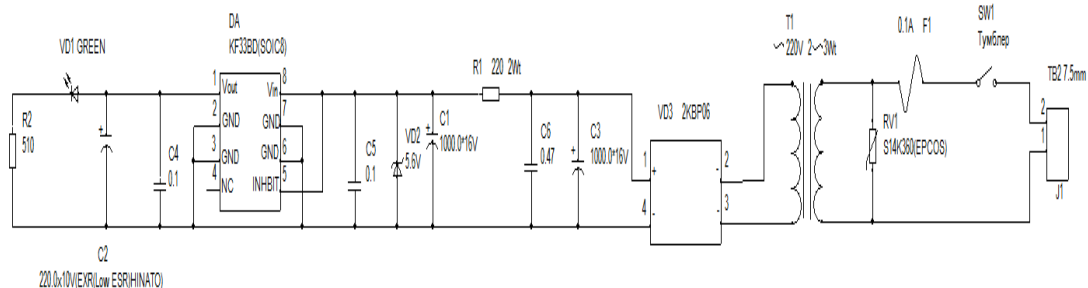


Рис. 39 - Схема подачі напруги живлення 3.3В

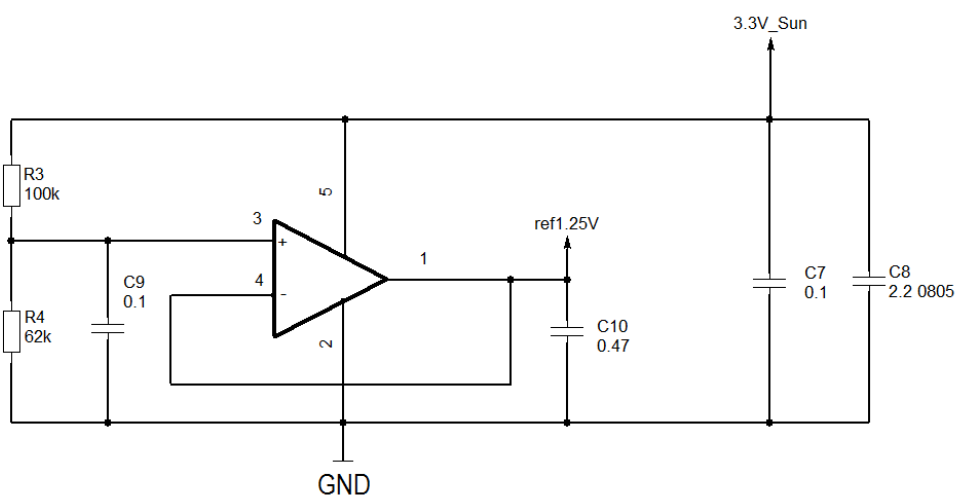


Рис. 40 - Схема подачі референсного напруги 1 В

4.2.4. Система управління кроковим двигуном і синхронізації вимірювань (Arduino типу ArduinoPROMINI з використанням драйвера управління кроковим двигуном)

ArduinoProMini - це пристрій на базі мікроконтролера ATmega328. При вимірах використовується 5В версія. Основні характеристики ArduinoProMini представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Мікроконтролер	ATmega168 або ATmega328
Робоча напруга	3.3В або 5В (в залежності від моделі)
Напруга живлення	3.35-12В (для моделі 3.3В) або 5 - 12В (для моделі 5В)
Цифрові входи / виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів)
Аналогові входи	8
Максимальний струм одного вивода	40 мА
Flash-пам'ять	16 КБ (з яких 2 КБ використовуються завантажником)
SRAM	1 КБ
EEPROM	512 байт
Тактова частота	8 МГц (для моделі 3.3В) або 16 МГц (в моделі 5В)

Для управління поворотом сенсора щодо джерела світла і синхронізації даних з АЦП складений алгоритм, який представлений нижче (рис.27).

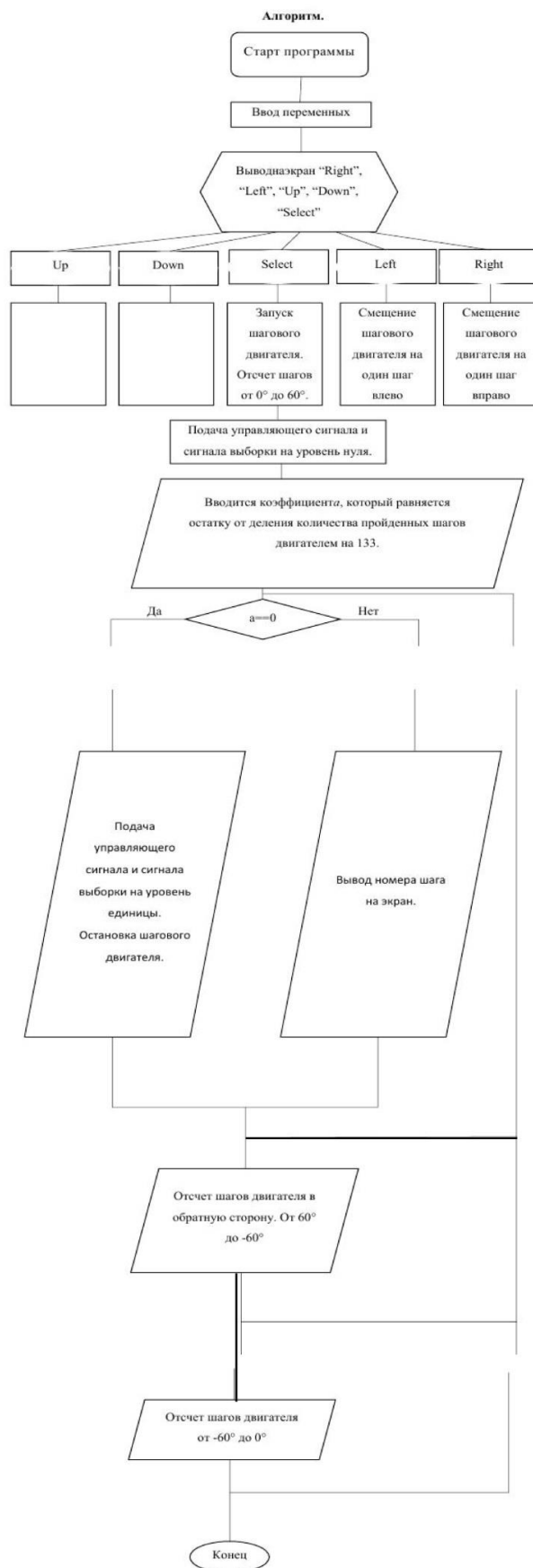


Рис.41- Алгоритм програми

4.3 Налаштування програмного комплексу

Інтерфейс сенсора складається з двох шин (X1, X2, рис.28) по 6 контактів.

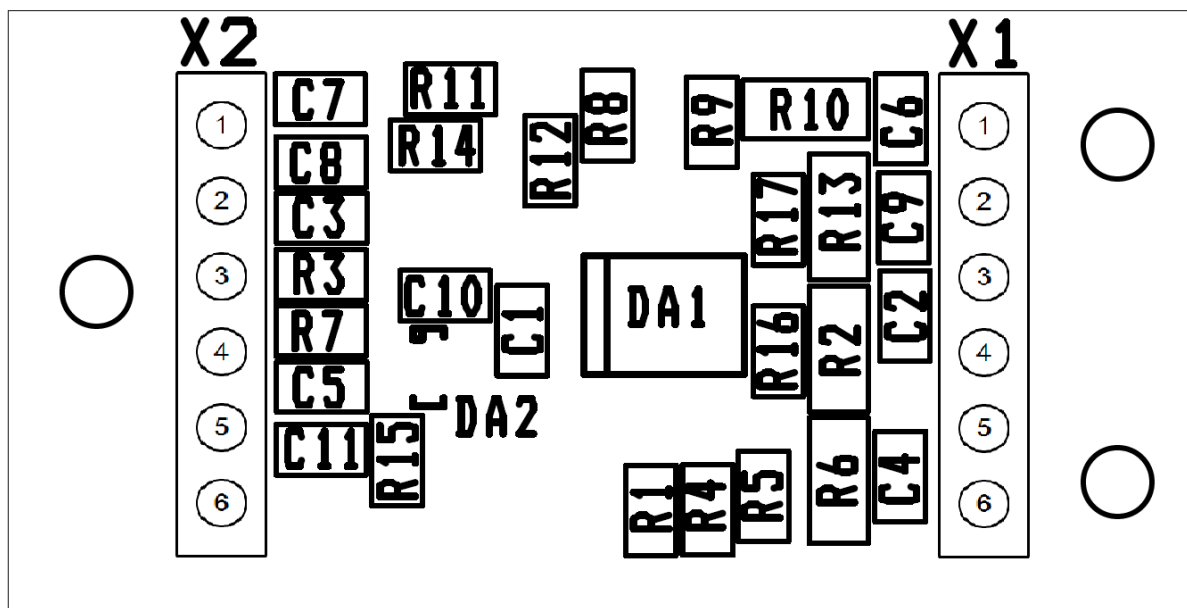


Рис.42 - Зображення тильної сторони сенсора.

Шина X1:

- 1 - VertRef (вихідний не посилений сигнал вертикального опорного каналу);
- 2 - Vert (вихідний не посилений сигнал вертикального робочого каналу);
- 3 - HorizRef (вихідний не посилений сигнал горизонтального опорного каналу);
- 4 - Horiz (вихідний не посилений сигнал горизонтального робочого каналу);
- 5 - GND (заземлення);
- 6 - ref 1 V;

Шина X2:

- 1 - VertRefOut (вихідний посилений сигнал вертикального опорного каналу);
- 2 - VertOut (вихідний посилений сигнал вертикального робочого каналу);
- 3 - HorizRefOut (вихідний посилений сигнал горизонтального опорного каналу);
- 4 - HorizOut (вихідний посилений сигнал горизонтального робочого каналу);

5 - Tmp_r (температура);

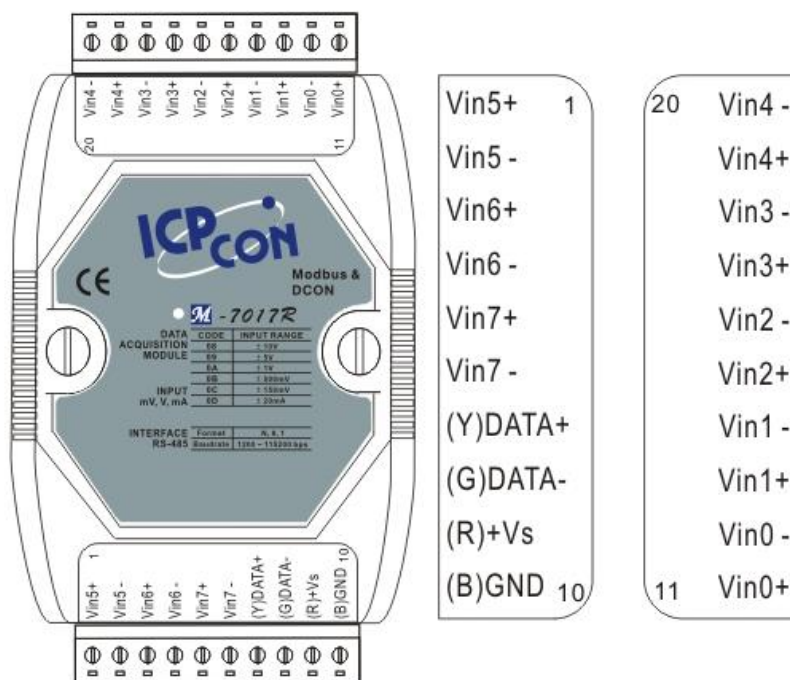
6 - 3.3V.

Підключення СККС до схеми комутації (рис. 43). Підключення здійснюється згідно розпінування до клем СККС XS-1 і XS-2.



Рис.43 - Підключення до схеми комутації і живлення

Підключення до АЦП



Мал. 44. - Зображення АЦП з пронумерованими каналами.

АЦП має 8 входів, які мають маркування Vin (0-7) \pm . Сенсор має чотири сигнальних виходу, тому для використання АЦП досить 4/8 каналів (Vin (0-3) \pm). На кожну з чотирьох клем АЦП зі знаком "-" необхідно приєднати заземлення, тому паралельно на кожну з клем АЦП підключається дрід з СУКС з написом GND. На клемі АЦП зі знаком «+» під'єднуються сигнальні дроти з сенсора.

До Vin0 + клемі АЦП - X2-1,

Vin1 + клемі АЦП - X2-2,

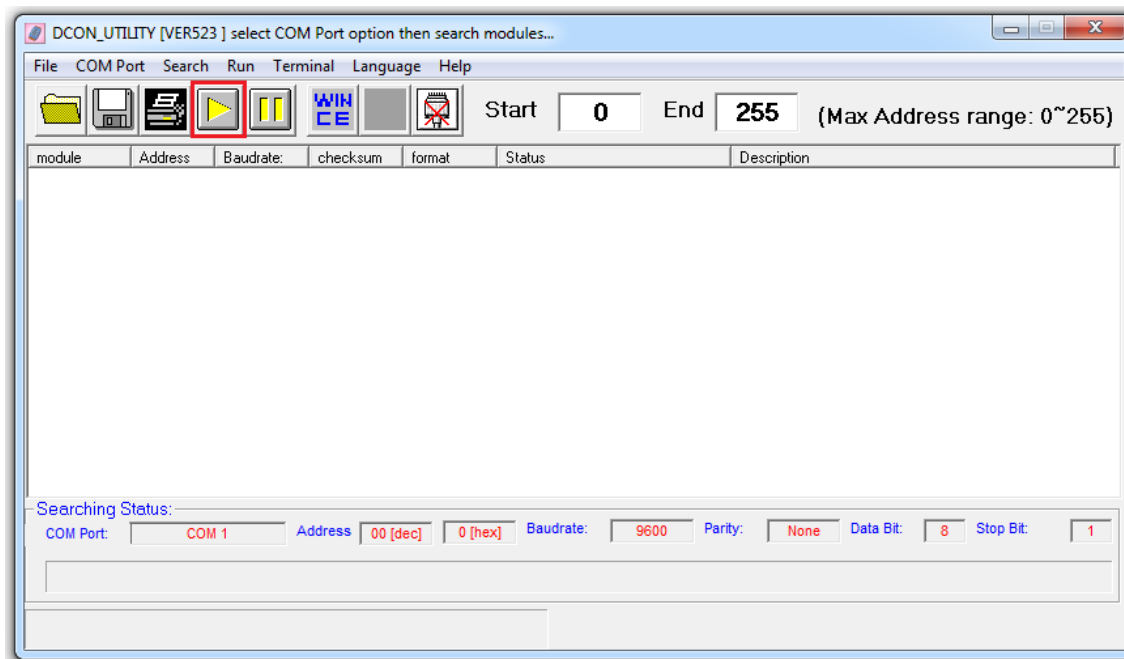
Vin2 + клемі АЦП - X2-3,

Vin3 + клемі АЦП - X2-4.

Дані з АЦП зчитуються за допомогою комп'ютера.

Для конфігурації обладнання використовується програма DCONUtility.

Кнопкою Start search (рис.45) запускається сканер підключених пристроїв.



Мал. 45. - DCON_Utility Start search

Після виявлення потрібного обладнання Stop Search (рис. 46) (виділено червоним).

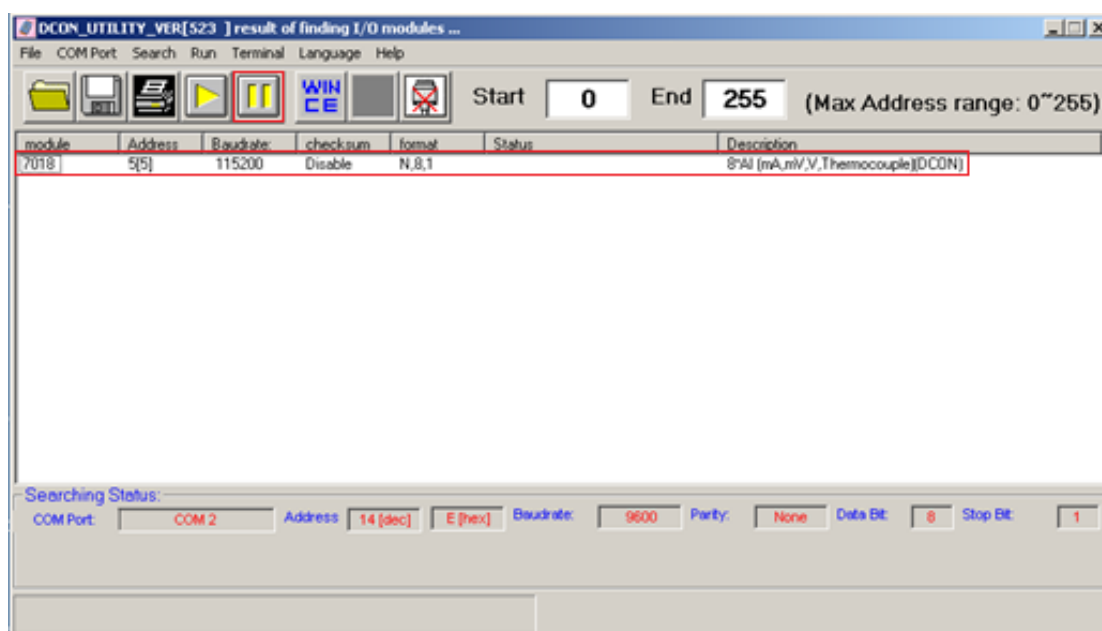


Рис. 46. - DCON_Utility Stop search

Натисканням на рядок з виявленим пристроєм активується вікно налаштувань поля (рис. 47):

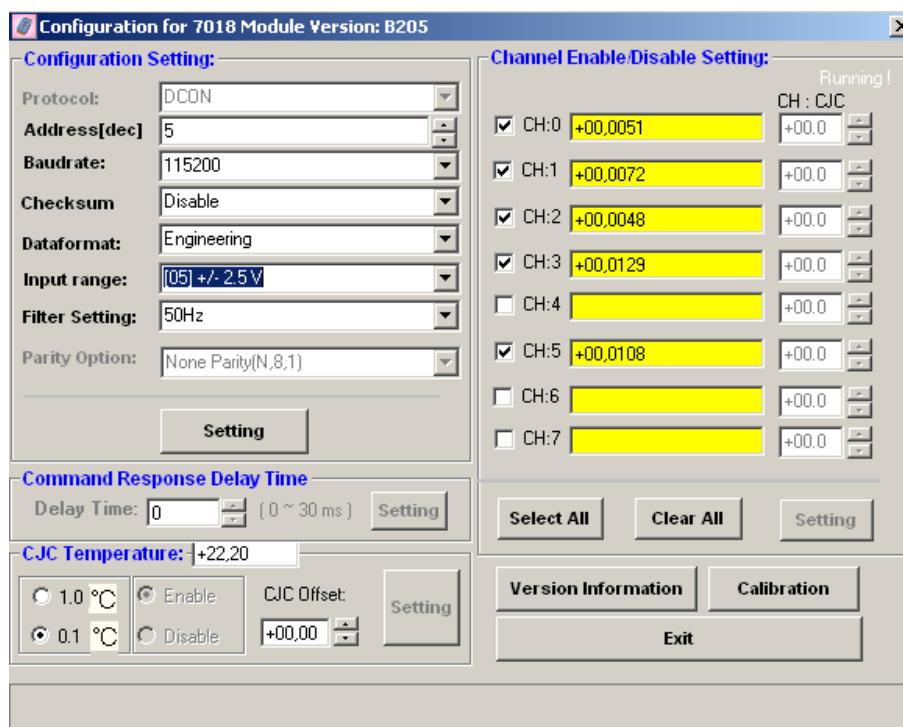


Рис. 47 - Вікно налаштування АЦП.

У вікні настройки можна змінити: адреса пристрою, вхідні дані, швидкість передачі даних і вибрати канали (поля з мітками CH: (0-7) відповідають каналам АЦП (CH: 0 - Vin0 і т.д.)).

Після установки і збереження параметрів конфігуратора DCON_Utility, необхідно запустити програму для збору даних EZ_Data_Logger. Порядок настроювання АЦП в програмі EZ_Data_Logger відбувається за наступним алгоритмом:

1. Після запуску програми EZ_Data_Logger виникне робоча область програми (рис. 48) в якій натисканням кнопки GroupSetup (виділено червоним) буде налаштовуватися конфігурація програми. (Рис. 47. Вікно налаштування АЦП.)

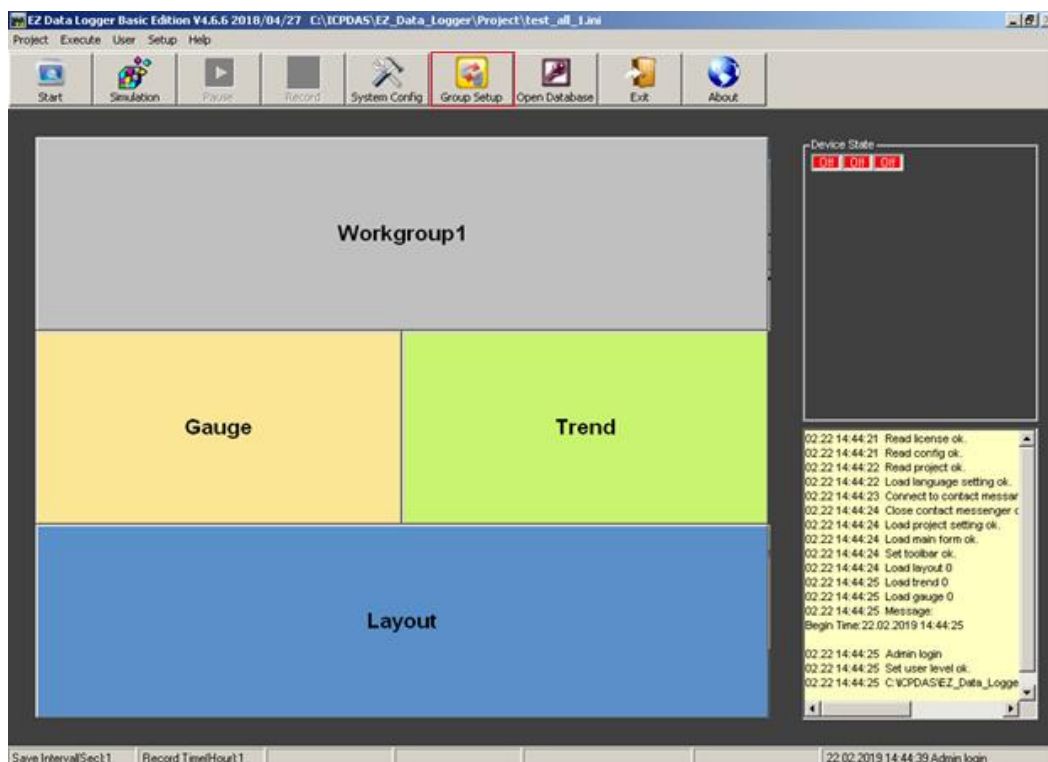


Рис. 48 - Головне вікно програми EZ_Data_Logger

2. У вікні налаштувань (рис. 49) потрібно додати відповідний драйвер для АЦП в даному випадку зі списку драйверів вибрати I-7018. Додавання відбувається натисканням клавіші "Install" (виділено червоним).

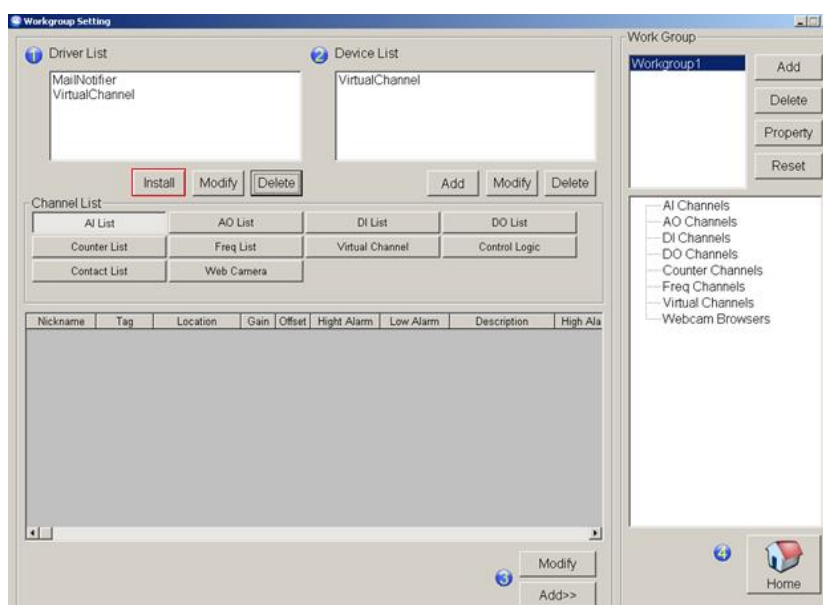


Рис. 49 - WorkgroupSettings

3. Вікно додавання драйверів (рис. 50) Необхідно натиснути клавішу "Install" для установки драйвера.

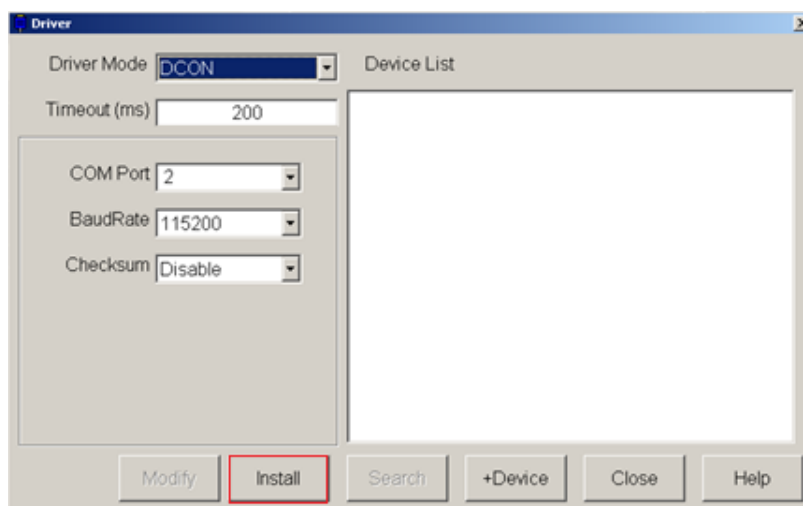


Рис. 50. - Driversetup

4. Натисканням клавіші "Search" (рис. 51) здійснюється пошук АЦП. Після пошуку підключеного обладнання, а саме АЦП, потрібно натиснути клавішу "Stop", яка з'явиться на місці клавіші "Search" і закрити це вікно.

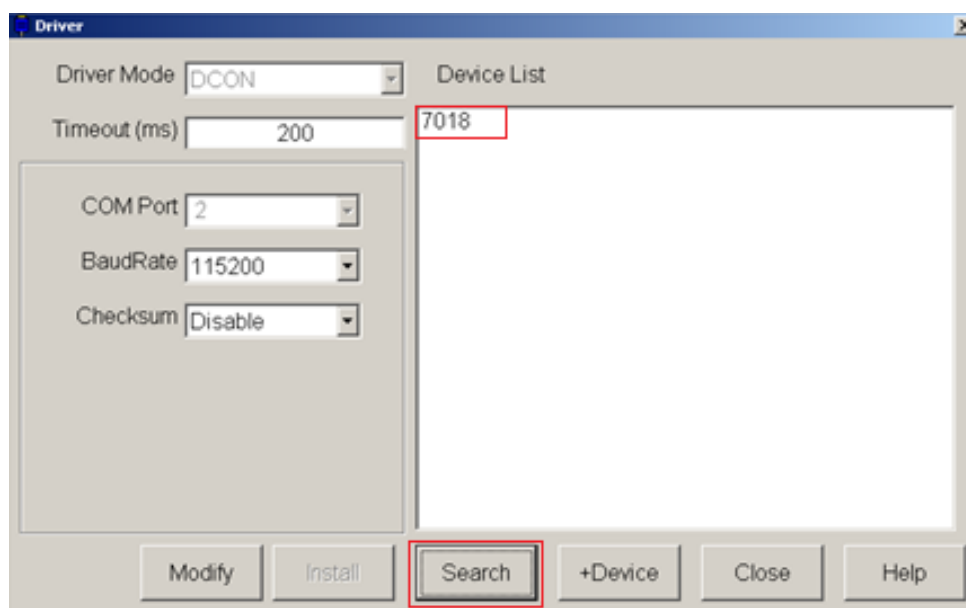


Рис. 51 - Driversearch

5. Після виконання всіх пунктів вище вікно налаштувань буде виглядати (рис. 38.) Додати АЦП I-7018 здійснюється натисканням кнопки кнопкою "Add" (виділено червоним) у вікні "DeviceList".

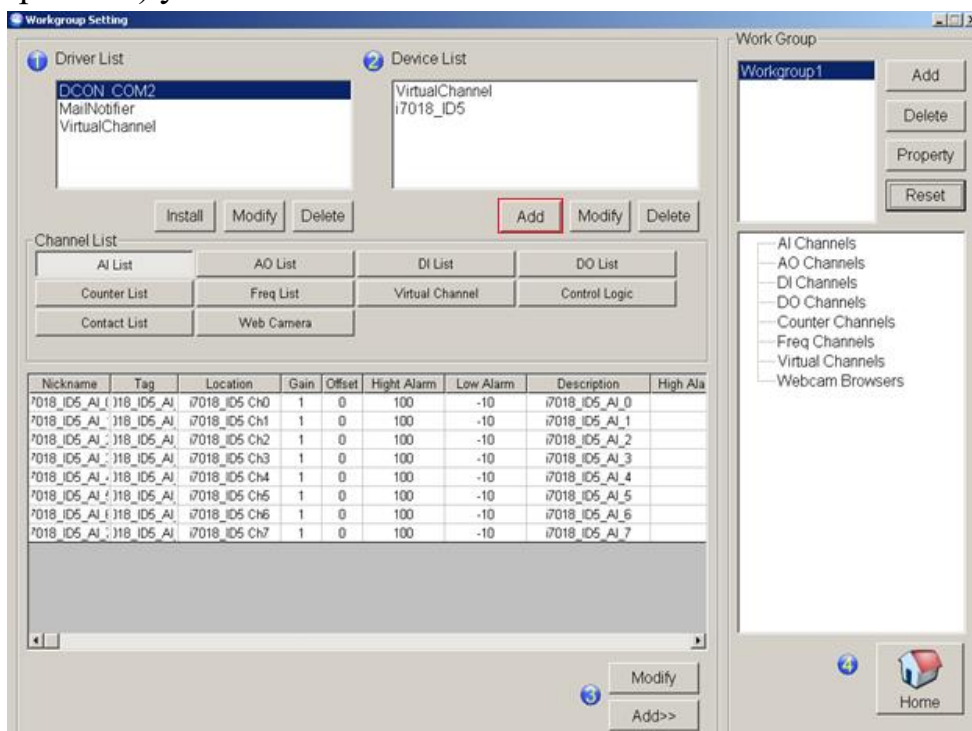


Рис. 52 - WorkgroupSettings

6. Натисканням кнопки Add (рис. 52) активується вікно додавання нового пристрою. Необхідно вибрати пункт "DCONDevice (i-7000, i-87k, i-8000 series)" і натиснути клавішу, виділену червоним на рис. 53.



Рис. 53 - Devicesetup

7. Налаштування конфігурації АЦП (рис. 54). У робочій області вибрати пункт "7K" У вікні "Module" необхідно зі списку вибрати "7018". В поле "Address" необхідно

вказати адресу порту, який знаходиться в програмі DCON_Utility і натиснути клавішу "Add".

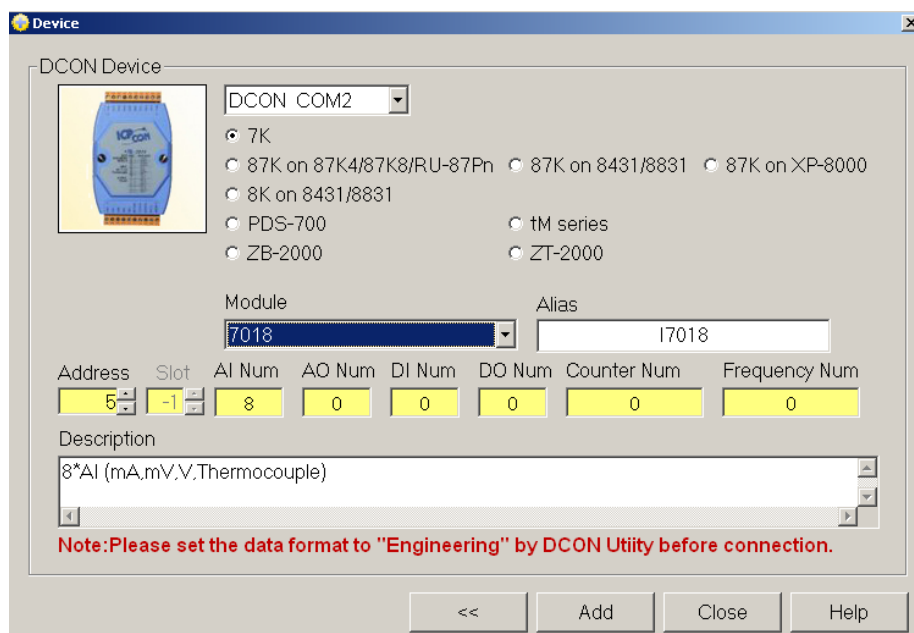


Рис. 54 Device setup window

8. У робочій області (рис. 55) необхідно додати використовувані номери каналів АЦП. Вибір цих каналів здійснюється натисканням клавіші "Add" (виділено червоним). Далі необхідно перевірити коректність доданих каналів в панелі праворуч (виділена червоним).

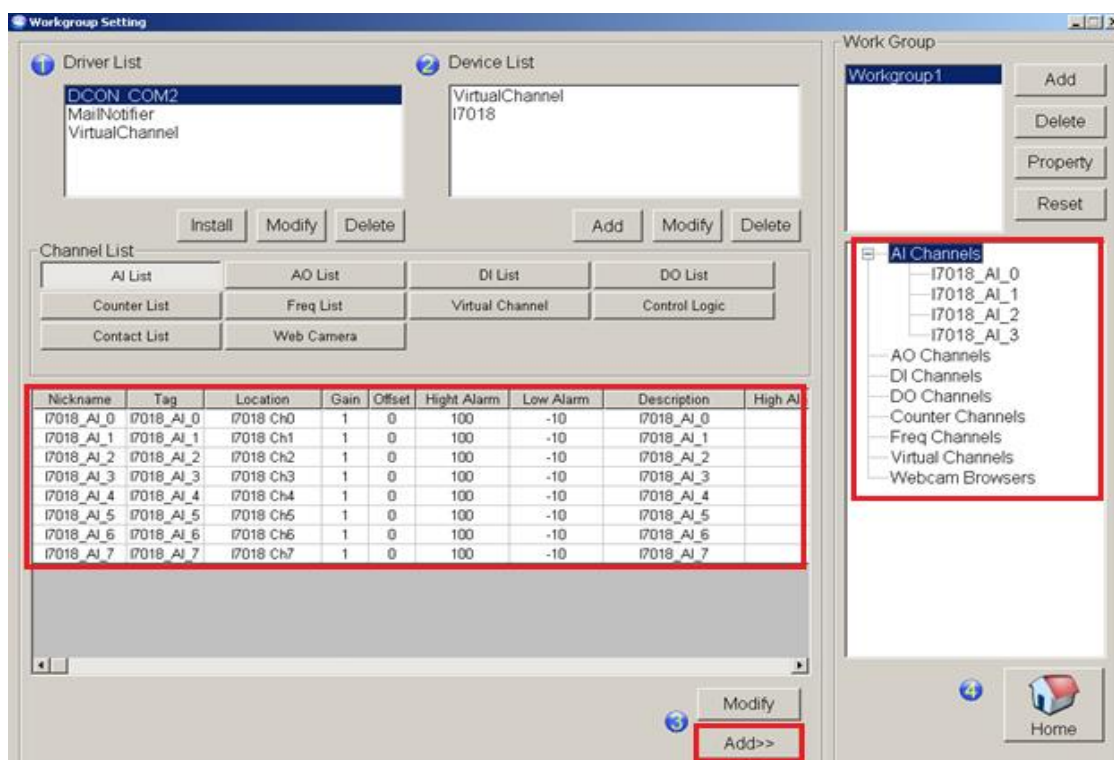


Рис. 55 Channel settings.

Для зручності в вимірі і постобробці, можна налаштовувати назву каналів шляхом подвійного натискання на нього. Після цього з'явиться вікно (рис. 56). Назву можна змінювати в полях, позначених червоним. Не допускається в назві наявність розділових знаків. В цьому випадку, при симуляції, програма буде видавати помилку.

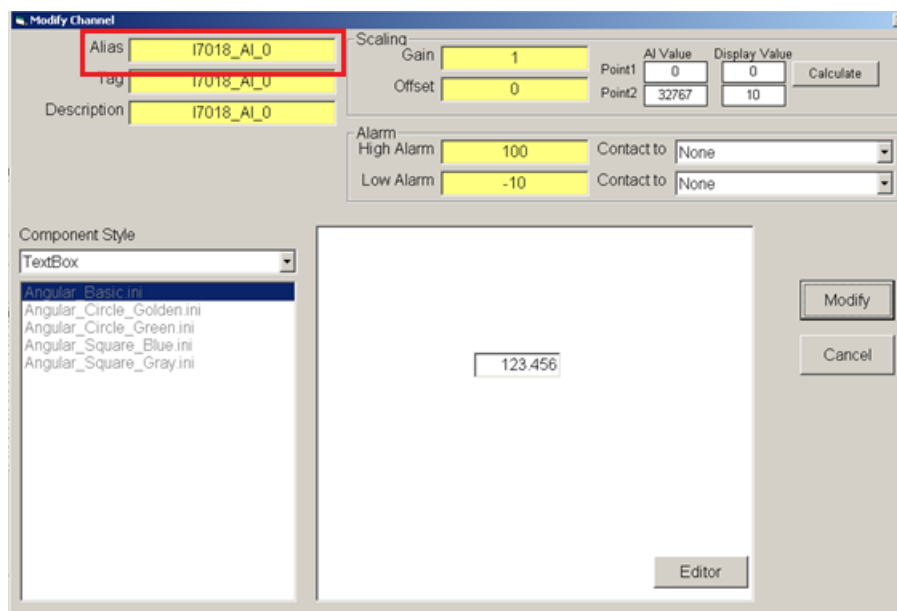


Рис. 57 Modifychannel

9. Після того, як всі конфігурації будуть обрані, необхідно натиснути клавішу "Home". Після цього починати запуск програми (клавіша "Start"). При правильного налаштування і підключення з'явиться робоча область (рис. 58). У вікні "Trend" можна відстежувати залежність вимірюваних з АЦП величин від часу. Після завершення вимірювань необхідно натиснути клавішу "Stop". Масив даних, отриманий при вимірах автоматично зберігається в папці "log". Шлях до цієї папки: Мій комп'ютер / Локальний_диск_C / ICPDAS / EZ_Data_Logger / log Файл з масивом даних

зберігається в форматі .ini.

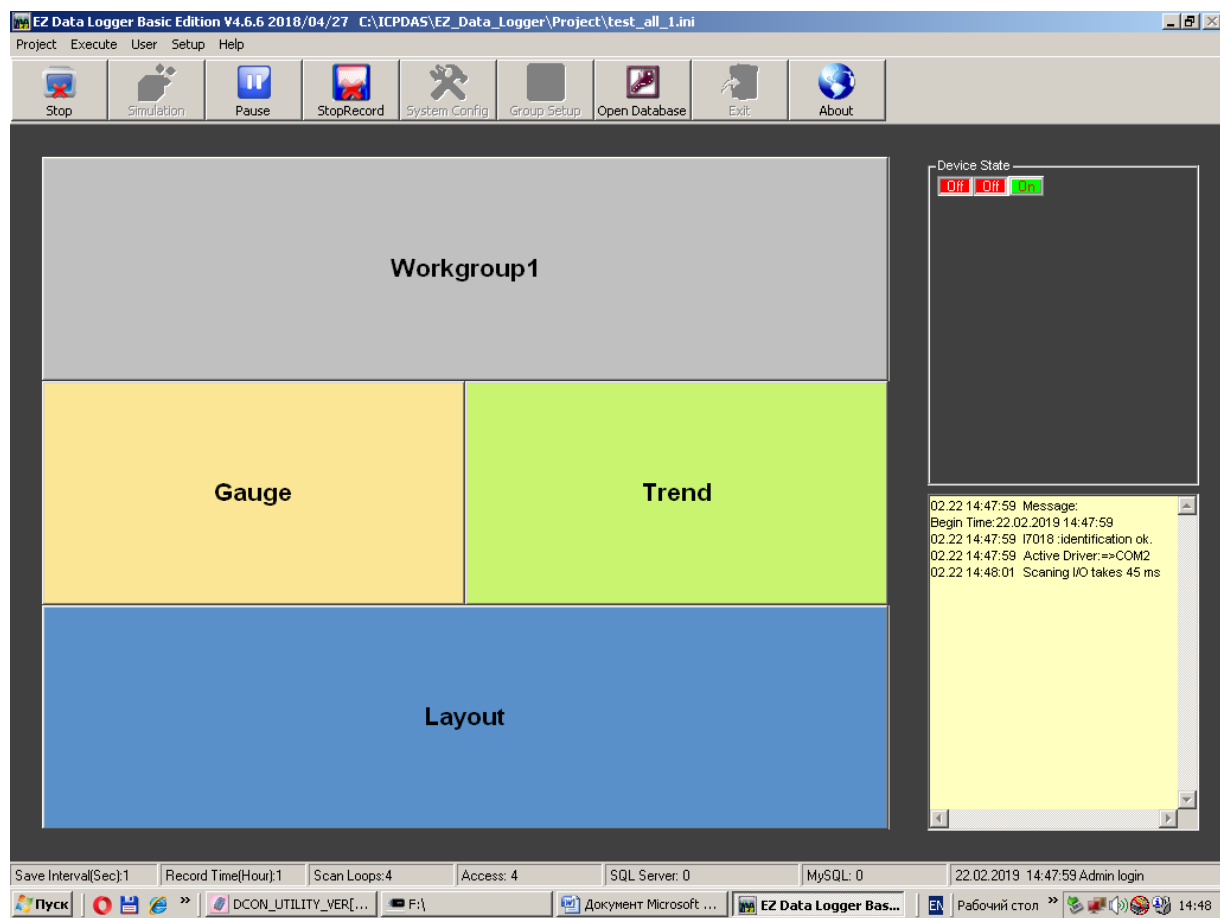


Рис. 58 - Процес симуляції

6.4 Отримані кутові хаарактеристики

Кутові характеристики виготовлених сенсорів.

Таблиця 2

$\alpha, ^\circ$	U_1, B	U_2, B	U_3, B	U_4, B	U_5, B	U_{DiffH}, B	U_{DiffV}, B
-60	4,716	4,785	4,653	4,62	4,892	-0,068	-0,276
-55	4,664	4,73	4,582	4,14	4,886	-0,076	-0,766
-50	4,612	4,682	4,502	4,067	4,866	-0,072	-0,803
-45	4,563	4,652	4,436	4,082	4,837	-0,09	-0,756
-40	4,509	4,617	4,376	4,096	4,787	-0,11	-0,693
-35	4,462	4,582	4,332	4,112	4,735	-0,12	-0,624
-30	4,426	4,55	4,297	4,177	4,694	-0,13	-0,516
-25	4,392	4,52	4,272	4,22	4,637	-0,125	-0,436
-20	4,368	4,495	4,264	4,236	4,583	-0,125	-0,344
-15	4,352	4,476	4,263	4,282	4,523	-0,126	-0,238
-10	4,352	4,472	4,273	4,326	4,476	-0,122	-0,152
-5	4,352	4,466	4,275	4,366	4,441	-0,112	-0,077
0	4,366	4,472	4,295	4,412	4,392	-0,106	0,0196
5	4,377	4,465	4,306	4,452	4,343	-0,093	0,1094
10	4,386	4,465	4,33	4,489	4,287	-0,078	0,2016
15	4,395	4,463	4,333	4,527	4,255	-0,072	0,274
20	4,406	4,476	4,353	4,577	4,22	-0,072	0,3656
25	4,423	4,5	4,376	4,632	4,2	-0,078	0,4323
30	4,436	4,53	4,406	4,682	4,145	-0,095	0,5376
35	4,465	4,56	4,46	4,735	4,122	-0,094	0,6086
40	4,486	4,594	4,492	4,776	4,1	-0,106	0,687
45	4,518	4,64	4,53	4,82	4,07	-0,116	0,745
50	4,563	4,69	4,574	4,863	4,07	-0,126	0,797
55	4,622	4,735	4,629	4,898	4,12	-0,116	0,787
60	4,679	4,777	4,682	4,91	4,6	-0,098	0,318

Де U_1 — напруга горизонтального робочого каналу № 1, U_2 — напруга горизонтального робочого каналу № 2, U_3 — напруга горизонтального опорного каналу, U_4 — напруга вертикального робочого каналу № 2, U_5 — напруга вертикального робочого каналу № 1, U_6 — напруга вертикального опорного каналу № 2, $U_{\text{Diff,H,B}}$ —напруга диференційна горизонтального елемента, $U_{\text{Diff,V,B}}$ — напруга диференційна вертикального елемента.

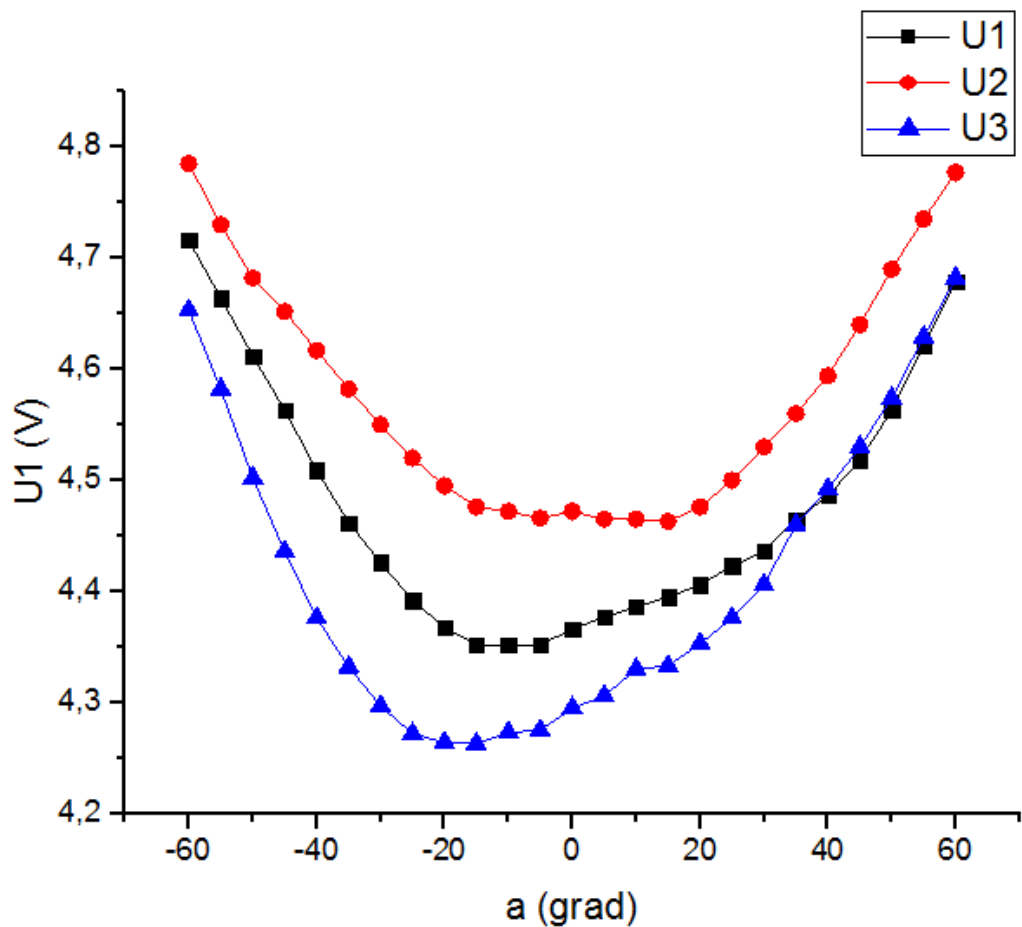


Рис.59 — Графік залежності напруги на горизонтальному каналі від кута під яким падає світловий потік.

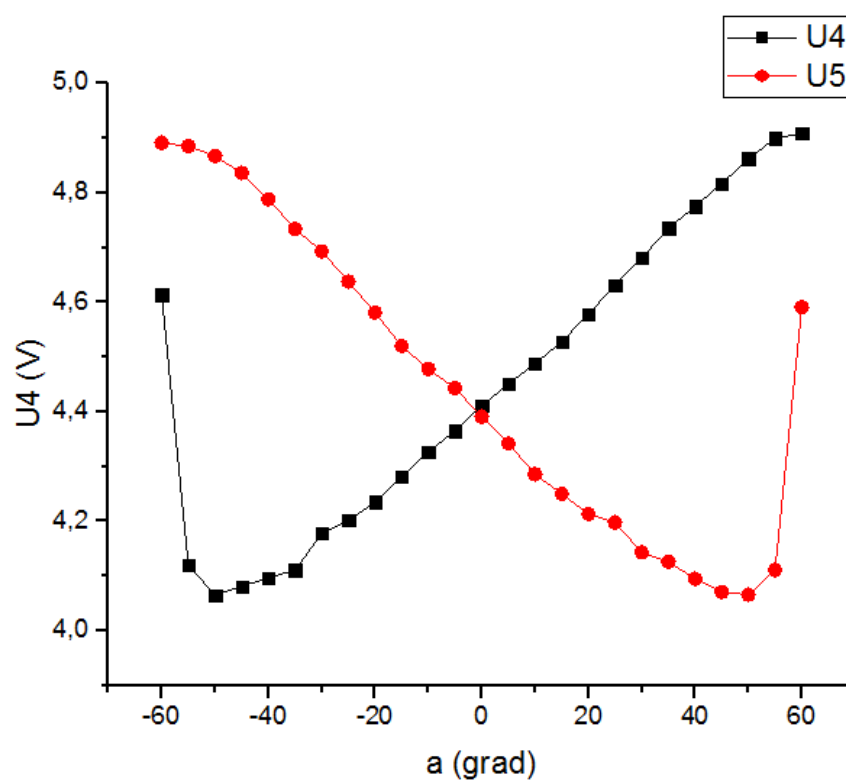


Рис.60 — Графік залежності напруги на вертикальному каналі від кута під яким падає світловий потік.

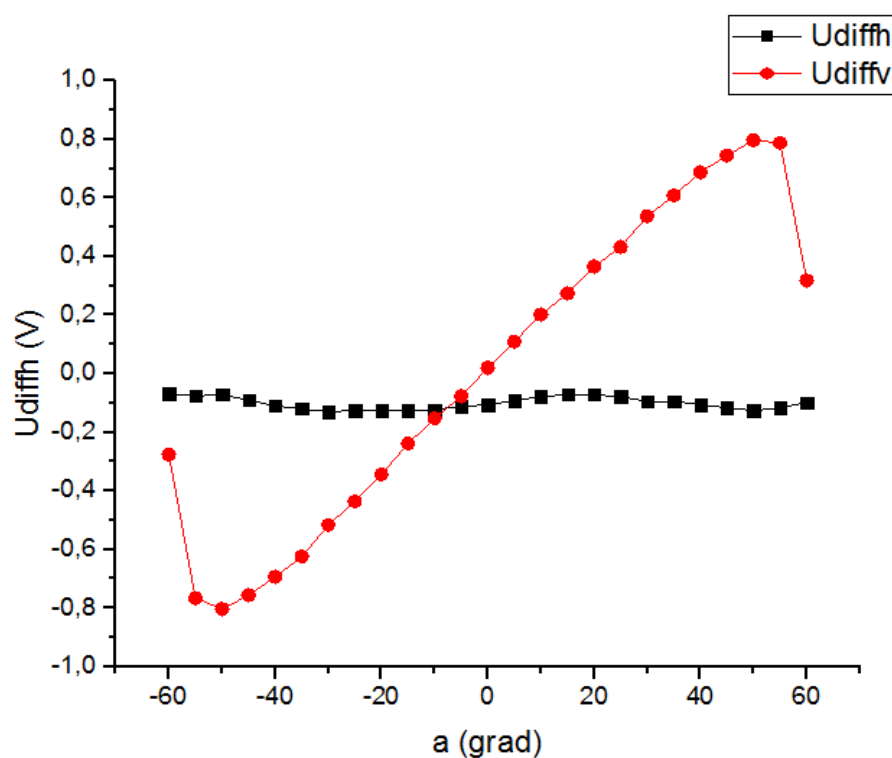


Рис.61— Графік залежності диференціальної напруги на вертикальному і горизонтальному каналах від кута під яким падає світловий потік.

7 НЕБЕЗПЕКИ ПОВ'ЯЗАНІ З ВИПРОБУВАННЯМИ І ЗАХИСТ ПЕРСОНАЛУ

7.1 Фактори впливу

Складне обладнання, яке використовується для випробувань виробів на вплив сонячної радіації, вимагає суворого дотримання вимог техніки безпеки.

Для вироблення правил техніки безпеки на розробленому експериментальному стенді необхідно, в першу чергу, розглянути основні фізичні фактори, які небезпечно впливають на обслуговуючий персонал, а саме:

- фактори впливу електричного струму..
- фактори впливу електромагнітного опромінення.
- фактори впливу опромінення оптичного діапазону.
- фактори впливу іонізуючого опромінення.
- фактори вибухонебезпеки.

7.1.1.Фактори впливу електричного струму:

Під час користування електроенергією є небезпека ураження людей електричним струмом. Найчастіша причина ураження людини електричним струмом – торкання до неізольованих струмопровідних провідників; до провідників з пошкодженою ізоляцією, а також до металевих елементів конструкції машин, механізмів і апаратів, які випадково виявилися під напругою.

Людина може потрапити під дію електромагнітних полів і електричної дуги, які виникають у разі торкання або зближення провідників електричного струму.

Електричний струм, який проходить крізь живий організм, чинить термічну, електролітичну та біологічну дію. Термічна та електролітична дія властива будь-яким провідникам, а біологічна - тільки живій тканині.

Термічна (теплова) дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку та інших органів, які перебувають на шляху протікання струму, що викликає серйозні функціональні розлади цих органів й організму в цілому.

Електролітична (хімічна) дія струму виражається в розкладі (електролізі) органічних рідин, в тому числі й крові, що супроводжується значними порушеннями їх фізико-хімічного складу.

Біологічна дія струму виявляється в подразненні та збудженні живих тканин організму, а також у порушенні внутрішніх біоелектричних процесів, які протікають у нормально діючому організмі й тісно пов'язані з його життєвими органами.

7.1.2 Фактори впливу електромагнітного опромінення:

Електромагнітні поля особливо негативно впливають на організм людини, який безпосередньо працює з джерелом випромінювання. В діапазоні промислових частот більше негативний вплив на біологічний об'єкт має електрична складова поля.

Найчутливішими до ЕМП є нейродинамічні процеси, які прямо чи побічно перемикають хронобіологічні процеси організму на патологічний або стресовий режим функціонування.

При дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Такі порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи.

У більшості випадків такі зміни в діяльності нервової та серцево-судинної системи мають зворотній характер, але в результаті тривалої дії вони накопичуються, підсилюються з плином часу, але, як правило, зменшуються та зникають при виключенні впливу та поліпшенні умов праці. Тривалий та

інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень в організмі людини та захворювань.

7.1.3 Фактори впливу опромінення оптичного діапазону:

Вплив оптичного випромінювання на біологічні тканини може призвести до теплової, ударної дії світлового тиску, електрострикції (механічні коливання під дією електричної складової ЕМП), перебудови внутріклітинних структур. Залежно від різних обставин прояв кожного ефекту зокрема чи їх сумарна дія можуть відрізнятися.

При великій інтенсивності і дуже малій тривалості імпульсів спостерігається ударна дія лазерного випромінювання, яка розповсюджується з великою швидкістю та призводить до пошкодження внутрішніх тканин за відсутності зовнішніх проявів.

Найважливішим фактором дії на біологічне середовище є тепловий ефект, який проявляється у вигляді опіку, іноді з глибинним руйнуванням — деформацією і навіть випаровуванням клітинних структур. При менш інтенсивному випромінюванні на шкірі можуть спостерігатися видимі зміни (порушення пігментації, почервоніння) з досить чіткими межами ураженої ділянки. Шкірний покрив, який сприймає більшу частину енергії лазерного випромінювання, значною мірою захищає організм від серйозних внутрішніх ушкоджень. Але є відомості, що опромінення окремих ділянок шкіри викликає порушення у різних системах організму, особливо нервової та серцево-судинної.

7.1.4 Фактори впливу іонізуючого опромінення:

Джерела іонізуючих опромінь несуть невидиму небезпеку для персоналу, створюваним радіоактивним випромінюванням, що іонізує молекули тканин. Процес іонізації супроводжується ультрафіолетовим випромінюванням, що збуджує молекули клітин. Це веде до розриву молекулярних зв'язків і зміни хімічної структури різних з'єднань.

Основні стадії і етапи променевого ураження в часі: фізична , хімічна , біологічна .

Перша стадія - фізична. Вона протікає протягом 10^{-12} - 10^{-9} с. На цій стадії відбувається іонізація і збудження як низькомолекулярних, так і високомолекулярних сполук субстрата клітини. Встановлено, що при поглиненій дозі 10 Гр (доза, що викликає 100% загибель організму людини) в клітині утворюється близько 10^6 - 10^7 іонізованих і збуджених молекул. Приблизно 30% цих актів іонізації і збудження припадає на органічні речовини клітини. На ці процеси витрачається близько 80% поглиненої енергії випромінювання. При іонізації і порушення утворюються іони і вільні радикали в результаті дисоціації молекул води, неорганічних і органічних сполук.

Друга стадія - хімічна. Вона протікає протягом 10^{-9} - 10^{-3} с. На цій стадії відбуваються реакції взаємодії первинних продуктів радіолізу з порушеними молекулами, включаючи макромолекули різних біоструктур. Утворюються, зокрема, органічні перекиси і протікають реакції окислення, що призводять до появи безлічі нових хімічних сполук, у тому числі токсичної дії - радиотоксини.

Третя стадія - біологічна. Вона протікає від 10^{-3} с і до моменту загибелі організму (роки). На цій стадії радіаційно-хімічні перетворення в биосубстрате клітини ведуть до порушень у біологічній організації клітини і в подальшому до зміни всіх біологічних процесів, що відбуваються на рівні клітини і цілого організму.

7.1.5 Фактори вибухонебезпеки:

Факторами ураження в аваріях на вибухопожежонебезпечних об'єктах є повітряна ударна хвиля з утворенням великої кількості осколків, уламків будівель і споруд, висока температура від горіння різних речовин і матеріалів та забруднення повітря в осередку ураження продуктами горіння, зокрема чадним газом.

При вибуху на вибухопожежонебезпечних об'єктах персоналу може постраждати як від прямого впливу ударної хвилі, так і від літаючих уламків обладнання, каменів, осколків скла тощо. Збиток, який заподіюється ударною хвилею житловим і промисловим будівлям, може проявлятися у вигляді повних руйнувань, сильних, середніх і слабких, залежно від потужності вибуху.

7.2 Заходи і безпеки

7.2.1 Загальні положення

Складне обладнання, яке використовується для випробувань виробів на вплив сонячної радіації, вимагає, щоб його експлуатація та обслуговування проводились кваліфікованим персоналом не тільки в зв'язку з необхідністю правильного проведення випробувань, а й з необхідністю дотримання техніки безпеки.

7.2.2 Ультрафіолетове випромінювання

Найбільш явна небезпека, яка повинна бути врахована в заходи з техніки безпеки, пов'язана з шкідливими впливами інтенсивного випромінювання в ближній ультрафіолетовій області спектра. При природному сонячному світлі захист очей забезпечується двома факторами; яскравість сонця не дозволяє дивитися на нього прямо, а ультрафіолетове випромінювання значно послаблюється атмосферою. При використанні штучних джерел випромінювання для захисту очей повинні застосовуватися захисні окуляри або оглядові отвори, особливо при налагодженні обладнання. Весь персонал, зайнятий проведенням випробувань, повинен бути проінструктований і обізнаний щодо того, що навіть короточасний вплив прямого випромінювання дугових ламп може бути дуже шкідливий для очей. Крім того, на ділянках шкіри, схильних до опромінення, може виникнути еритема (сильний сонячний опік). Тому, навіть якщо для опромінення випробувального простору застосовують джерела з фільтрами, рекомендується при роботі користуватися спеціальною захисним одягом, в комплект якої входять також засоби захисту голови і рук.

7.2.3 Озон і шкідливі випари

Інша небезпека для здоров'я, пов'язана із застосуванням ксенонових і інших дугових ламп, полягає в можливості утворення місцевих токсичних концентрацій озону під час випробування. Однак максимальна кількість озону утворюється в перший момент після включення лампи, після чого нагріта колба лампи сприяє зворотному перетворенню озону в кисень.

У разі застосування примусового повітряного охолодження, повітря повинно відсмоктуватися і віддалятися з робочого об'єму. Його проникнення в кожух лампи не допускається. Таким чином, небезпека утворення токсичних концентрацій озону значно зменшується. Вміст озону в повітрі в кількості від 1.0 до 10,0 частин на мільйон за обсягом викликає головні болі, подразнення слизової оболонки носоглотки, слъозотечу. Однак слід мати на увазі, що токсичною є навіть концентрація озону менше 0.1 частини на мільйон, що нижче рівня, виявленого за запахом (від 0.5 до 1.0 частини на мільйон). Комбінований вплив теплового й ультрафіолетового випромінювання на деякі пластмаси (наприклад шаруваті пластики на основі меламіну) може також привести до утворення отруйних випарів. Тому при виборі конструкційних матеріалів для випробувального устаткування слід бути особливо обережним.

7.2.4 Вибухонебезпечність ламп

Використання ксенонових ламп високого тиску в якості основного джерела випромінювання, якщо відсутні розроблені правила поводження з газорозрядними трубками або якщо вони не виконуються, може також призвести до нещасних випадків. Всі лампи такого типу (гарячі або холодні, старі або нові) мають тенденцію вибухати з великою силою внаслідок високого внутрішнього тиску (від 2 до 3 атм. коли лампи холодні, і до 20 атм. коли лампи гарячі). На поверхні ламп не повинно бути видимого бруду або масла, тому необхідно регулярно проводити чистку миючими засобами та спиртом, виконуючи цю операцію в бавовняних рукавичках, і особа має бути захищена. При зберіганні холодних ламп наслідки вибуху можна послабити, застосовуючи складений удвічі пластмасовий лист товщиною 0,25 мм. Особливі заходи слід вжити для попередження ланцюгової реакції полумок в багатолампових обладнанні. Для

захисту від вибухів ламп можна використовувати товсте скло, яке одночасно може бути і коригуючим світлофільтром. Для виявлення неприпустимих змін вольтамперних характеристик ламп в формуляр на кожну лампу слід регулярно вносити результати вимірювань.

7.2.5 Електричний удар

Повинні бути прийняті звичайні заходи безпеки проти ураження електричним струмом, особливо при використанні високовольтних систем запалювання дугових ламп. У деяких ксенонових лампах імпульс запалювання дуги перевищує 60 кВ., що викликає необхідність застосування системи блокування.[6]

8. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

8.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 2.

Опис ідеї стартап-проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Імітатор Сонця що дозволяє досліджувати сенсори які в подальшому використовуються в супутниках	1.Космічна промисловість	Імітатор Сонця, що використовується для вимірювання кутових характеристик сенсорів які в подальшому встановлюються на супутники
	2.Експериментальна робота у лабораторіях	Використання в дослідках де потребується імітатор Сонця

Таблиця 3.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
1.	Економічні	1450 у.о	6000 у.о.	9000 у.о.	12000 у.о.			+
2.	Призначення	Вимірювання кутових характеристик	Вимірювання кутових характеристик	Вимірювання кутових характеристик	Вимірювання кутових характеристик		+	
3.	Надійності	Довговічність – 5 років	Не вказана	Не вказана	Не вказана		+	
4.	Технологічні	Портативність	Портативність	Портативність	Портативність		+	
5.	Ергономічні	-	-	-	-		+	
6.	Органолептичні	-	-	-	-		+	
7.	Естетичні	-	-	-	-		+	
8.	Екологічні	Екологічний	Екологічний	Екологічний	Екологічний		+	
9.	Безпеки	Безпечний	Безпечний	Безпечний	Безпечний		+	

Конкурент 1: Імітатор Сонця «Jetspin»

Конкурент 2: Імітатор Сонця «SILICA SCIENTIFIC 230»

Конкурент 3: Імітатор Сонця «Keyland Sun 1a»

8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4

Технологічна здійсненність ідеї проекту.

п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Імітатор Сонця для вимірювання кутових характеристик сенсорів	Ксенонові дугові лампи високого тиску	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Ксенонова дугова лампа високого тиску				

8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 5.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту.

п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, ум.од/рік	10 тис / рік
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Розгортання великого виробництва
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Присутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	140%

Ринок є привабливим для входження.

Таблиця 6.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту.

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Забезпечення спектральних характеристик	Лабораторії і дослідницькі центри	-	Спектральні характеристики близькі до сонячних

Таблиця 7.

Фактори загроз.

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1.	Кваліфіковані кадри	Потреба в людях потрібної кваліфікації	Пошук персоналу в технічних інститутах
2.	Ресурси	Для створення пристрою потребується достатня кількість ресурсів	Імпорт ресурсів

Таблиця 8.

Фактори можливостей.

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1.	Конкуренція	Спрощення технологій виробництва і покращення параметричних особливостей	Покращення характеристик
2.	Попит	Більш тісна співпраця з іншими країнами	Організація зворотного зв'язку з іншими країнами

Таблиця 9.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - поліполія	На ринку присутня велика кількість компаній	Застосування передових технологій та залучення кваліфікованого персоналу
2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Місцезнаходження фірм не обмежується територіально	Створення інтернет-міжнародного магазину
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари, що задовольняють одну й ту саму потребу, але мають відмінності у виробничих затратах, якості, ціні, тощо. Моніторинг технологій конкурентів	

Таблиця 9. Продовження

4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Покращувати якість товару і знижувати його вартість
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Передбачає продаж продукції за більш низькими цінами ніж конкуренти	Продукція якіснішого товару за нижчу вартість
6. За інтенсивністю - /не марочна	Роль торгової марки значна	Реклама товару

Таблиця 10.

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	«Jetspin»	«SILICA SCIENTIFIC »	Товар продається розробниками	Вимоги до якості і довговічності	Замінників немає
Висновки:	Інтенсивність висока, конкуренти давно на ринку	Інтенсивність низька, конкуренти давно на ринку	Постачальники не диктують умови на ринку	Товар має бути якісним і довговічним	Обмежень немає

Для високої конкурентоспроможності на ринку потрібно залучити кваліфікований персонал для забезпечення якості продукту та покращення технології виробництва. Також важливим є створення цільової рекламної компанії проти конкурентів.

Таблиця 11.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ступінь покращення характеристик імітатора	Конкуренти надають не в повній мірі
2.	Якість розробки з точки зору показників якості та довговічності	Імітатор має надавати потрібні характеристики сонячного випромінювання впродовж всього строку служби
3.	Наявність наукових ресурсів	Для покращення якості продукції та технологічного шляху потрібні наукові ресурси
4.	Економічний (ціна товару)	Ціна має бути привабливою для покупця

Таблиця 12.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту.

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ступінь покращення характеристик лампи	20		+					
2.	Якість розробки з точки зору показників якості та довговічності	16			+				
3.	Наявність наукових ресурсів	13				+			
4.	Економічний(ціна товару)	16							+

Таблиця 13

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Пошук наукових кадрів, налагодження збуту	65%	2 роки
2.	Пошук інвесторів, вихід на ринок	47%	1,5 роки

Обрано альтернативу № 1.

8.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 14

Вибір цільових груп потенційних споживачів.

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційн их клієнтів	Готовніс ть споживачів сприйняти продукт	Орієнтовн ий попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивніс ть конкуренції в сегменті	Просто та входу у сегмент
1	Науков о-дослідні інститути	Готові	Високий	Висока	Середні й
Які цільові групи обрано: №1					

Таблиця 15

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	1	Рекламна компанія і технологія забезпечить швидке завоювання ринку	Технологічність та маркетинг	Стратегія диференціації

Таблиця 16

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Так	Так, показники якості	Виклику лідера

Таблиця 17

Визначення стратегії позиціонування.

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Високі показники	Дифер енціації	Покращення параметрів	Оптимальне співвідношення ціни і якості

8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 18

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Покращення параметрів і довговічності	Більша якість вимірювання	Збільшення довговічності і якості імітатора

Таблиця 19

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Імітатор Сонця для вимірювання кутових характеристик сенсорів		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристик и	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Підвищення якості		
	2. Ціна 1450 у.о.		
	3. Стабільний світловий потік		
	4. Довговічність.		
	Якість: довговічність 5 років		
	Пакування: частинами		
	Марка: "KropySun"		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: гарантія		
	Після продажу: доставка, встановлення, обслуговування.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патент			

Таблиця 20

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	-	5000- 15000 у.о.	60000 у.о. і вище	300-500 у.о./шт

Таблиця 21

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Замовлення товару на сайті або через посередників	Встановлення контакту, інформування, поділ, зберігання, сортування	Канал нульового рівня	Через компанії сервіси

Таблиця 22

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цілових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цілові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуван ня	Завдання рекламного повідомленн я	Концепція рекламного звернення
1	Вимірюван ня кутових характеристик , імітація Сонця	Прямі - канал комунікації, коли інформація передається безпосередньо від інформатора до інформован ої особи	Збільшенн я стабільності і довговічності	Поширен ня знань про продукт	Звернення засноване на відмінност ях між рекламовани м товаром і тим, що пропонують конкуренти. Звернення ґрунтується на тому чи іншому мотиваційно му підході, покликаною впливати на споживчі переваги покупців.

ВИСНОВОК

В даній роботі було проаналізовано різні види імітаторів Сонця для вимірювання кутових характеристик сенсорів. Було розглянуто принципи та особливості роботи імітаторів Сонця. Проаналізовано та описано конструктивні особливості, оптичну схему та систему юстування, а також переваги та недоліки імітатора Сонця на ксеноновій лампі високого тиску.

Випробувальний стенд побудований на базі проекторного модуля КПК-23. Джерелом випромінювання є ксенонова дугова лампа високого тиску ДКсШ-3000. Ксенонова дугова лампа високого тиску ДКсШ-3000 випромінює безперервний спектр, близький до сонячного. Імітатор розрахований для роботи від мережі трифазного змінного струму частотою 50 Гц, напругою 380 В, що забезпечує живлення пристрою 50ВУК-120, що є джерелом живлення ксенонової дугової лампи високого тиску.

Було розглянуто особливості програмно-апаратного комплексу для вимірювання кутових характеристик. Визначено параметри та зняті кутові характеристики сенсора. Виміряні характеристики співпадають з попередніми вимірюваннями, що були проведені в державному підприємстві «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля», тому даний вимірювальний стенд можна використовувати в подальших вимірюваннях кутових характеристик сенсорів кутових координат Сонця.

Сонячні імітатори можна використовувати для імітації сонця в будь-якій лабораторній обстановці, де ви хочете отримати відтворювані результати. Сонячні імітатори можуть бути використані в багатьох областях досліджень, таких як: УФ-тестування матеріалів і виробів, дослідження деградації матеріалу, дослідження біомаси, в авіаційних галузях і багато інших.

Ринок імітаторів сонця захоплений компаніями які пропонують свої пристрої за великою ціною тому наш прилад швидко захопить ринок своєю ціною та якістю. Ринкова рентабельність пристрою залучить багато інвесторів і дасть змогу захопити ринок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. SOLAR SIMULATION TECHNOLOGY [Електронний ресурс] // G2V. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://g2votics.com/solar-simulation/>.
2. CubeSats Overview [Електронний ресурс] // NASA. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.nasa.gov/mission_pages/cubesats/overview
3. Satellite Attitude Determination [Електронний ресурс] // University of Sydney. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: http://www.personal.acfr.usyd.edu.au/m.bryson/Lectures/lecture_week7_handouts.pdf.
.Space Mission Analysis and Design. – El Segundo, California: Microcosm Press, 2006. – 929 с. – (Third Edition). – (Library of Congress Cataloging-in-Publication Data).
4. 4.NASA's Gravity Probe B Confirms Two Einstein Space-Time Theories [Електронний ресурс] // NASA's Latest News.. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: http://www.nasa.gov/mission_pages/gpb/gpb_003.html.
5. СЕНСОРИ КУТОВИХ КООРДИНАТ СОНЦЯ СТУДЕНТСЬКОГО НАНОСУПУТНИКА POLYITAN-2 [Електронний ресурс] // ResearchGate. – 2016. – Режим доступу до ресурсу:
https://www.researchgate.net/publication/311986021_SENSORI_KUTOVIH_KOORDINAT_SONCA_STUDENTSKOGO_NANOSUPUTNIKA_POLYITAN-2_Fadeev_MS_Dusejko_MG_Ivasuk_AV
6. ГОСТ28205 [Електронний ресурс] // Москва Стандартиформ. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: <https://files.stroyinf.ru/Data/29/2971.pdf>.
7. Крат С. А., Христич В. В. Тепловакуумная отработка КА: развитие современных тенденций // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 4 (30). С. 126–129.
8. Подходы к созданию комплексных систем для отработки и испытания космических аппаратов /С. В. Кравченко [и др.] // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 1 (13). С. 149–175.
9. Коваль В. М. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з курсу "Оптоелектроніка" (для підготовки бакалаврів за напрямком 6.050801 «Мікро- та наноелектроніка») / В. М. Коваль. – Київ, 2018. – 75 с.

10. Якименко Ю.І., Іващук А. В., Фадєєв М. С., Коваль В. М., Душейко М. Г., Кавраська Н. М. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка 2-х координатного пристрою визначення кутових координат Сонця на наноструктурованих плівках кремнію для космічних апаратів» № держ. реєстр. НДР0116U003819. –К., 2017. – 211с.
11. XBO Lamps For Digital Cinema Projection. OSRAM. Professional and technical sollutions 2018. №1 – 25с.
12. Базилевский А. Б., Карпенко А. В. Имитатор солнечного излучения на базе комбинированных непрерывных источников света // Материалы научтехн. конф. ОАО «ИСС им. акад. М. Ф. Решетнева». Железногорск. 2011. С. 160–162.
13. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
14. J. P. Enright and G. Godard, “Advanced sun-sensor processing and design for super-resolution performance,” in Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, Big Sky, Mont, USA, March 2006.
15. J. Petrasch, P. Coray, et al., A Novel 50 kW 11,000 Suns High-Flux Solar Simulator Based on an Array of Xenon Arc Lamps, Journal of Solar Energy Engineering, 129 (2007), pp. 405-411.
16. D. Hirsch, P.V. Zedtwitz, et al., A New 75 kW High-Flux Solar Simulator for High-Temperature Thermal and Thermochemical Research, Journal of Solar Energy Engineering, 125 (2003), pp. 117-120.
17. A. Davis, K. Levesque, S. Wilt, Prism Peak Rounding in Injection Molded Fresnel Lens Solar Concentrators, SPIE Optifab, 2011.
18. A. Davis, Raytrace Assisted Analytical Formulation of Fresnel Lens Transmission Efficiency, Proc. of SPIE, Vol. 7429, pp. 7429D1-12, 2009.